



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

### **ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

#### **CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

#### **“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA EP. EMAPA-G, CANTÓN GUARANDA, PROVINCIA DE BOLÍVAR.”**

**Proyecto de titulación previo a la obtención del grado de:**

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: MABEL NATHALY ZAPATA GARCÍA**

**TUTOR: PHD ROBERT CAZAR**

**Riobamba-Ecuador**

**2015**

## **DEDICATORIA**

A Dios, que llena de amor mi corazón, me conforta y limpia mi espíritu.

A mis padres Guido y Elcie, que me dieron la vida, la educación, la fuerza y el ejemplo para seguir adelante y siempre tomar el camino correcto.

A mis hermanos Adler, Margarita y Wilson, quienes con su amor y apoyo generaron fortaleza en mi corazón. De manera especial a Adler y a su esposa Lily, que siempre estuvieron para mí y supieron animarme en los momentos difíciles.

A mis queridos sobrinos Alejandro y Elías, quienes con sus sonrisas me alegran la vida y significan un motivo para conseguir mis metas.

A mi tío Oscar Zapata, quien siempre tuvo un consejo pertinaz, me apoyó y confió en mí.

A mi tía Emperatriz Zapata, quien me apoyó incondicionalmente y con su afecto me incentivó a culminar el proyecto.

A Esteban Silva y a su familia, quienes me dieron su cariño y me alentaron para seguir adelante.

A mis amigos: Ma. Belén, Cristina, Karla y Alejandro, por su amistad sincera y apoyo, a lo largo de toda nuestra vida estudiantil en la ESPOCH.

Mabel N. Zapata G.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, porque sin su presencia en mi vida, nada hubiese sido posible.

Al Dr. Robert Cazar, director de tesis y al Dr. Gerardo León, asesor de tesis; por su paciencia, dedicación de tiempo, comprensión, guía y colaboración para el desarrollo del presente proyecto.

A la Empresa Pública Municipal de Agua Potable de Guaranda, que proporcionó el aval para el desarrollo de la investigación. A todo el personal de esta prestigiosa empresa, y de manera especial al Ing. Raúl Allán, por su amistad, entereza, guía y contribución para la realización del presente proyecto, desde el inicio hasta su culminación. A Don David y a Don Washo por su asistencia y apoyo para la recolección de datos en el campo.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a todos los docentes que contribuyeron con mi formación académica, que fue clave para estructurar y desarrollar la investigación.

Mabel N. Zapata

### **CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL**

El Tribunal de Titulación, certifica que: El trabajo de investigación: **“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA EP. EMAPA-G, CANTÓN GUARANDA, PROVINCIA DE BOLÍVAR.”**, de responsabilidad de la señorita egresada Mabel Nathaly Zapata García, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Dr. Robert Cazar

**DIRECTOR DE TESIS**

---

---

Dr. Gerardo León

**MIEMBRO DE TESIS**

---

---



“Yo, Mabel Nathaly Zapata García, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este proyecto de titulación y el patrimonio intelectual del proyecto de titulación de Grado pertenecen a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.”

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	i
ANTECEDENTES .....	ii
JUSTIFICACIÓN .....	iv
OBJETIVOS.....	vi
Objetivo General .....	vi
Objetivos Específicos .....	vi
CAPÍTULO I .....	1
1. MARCO TEÓRICO .....	1
1.1 Agua Residual.....	1
1.1.1 Características de las Aguas Residuales.....	1
1.1.2 Caudal de las Aguas Residuales .....	5
1.1.3 Muestreo de Aguas Residuales.....	7
1.1.4 Clasificación de las Aguas Residuales .....	8
1.2 Tratamiento de las aguas residuales .....	9
1.2.1 Métodos de tratamiento de aguas residuales .....	9
1.3 Dimensionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual .....	14
1.3.1 Rejilla .....	14
1.3.2 Tanque de almacenamiento y coagulación.....	18
1.3.3 Floculador de Flujo Horizontal.....	23
1.3.4 Sedimentador de alta tasa.....	29
1.3.5 Eras de secado .....	34
1.3.6 Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA) .....	39
1.3.7 Tanque de desinfección.....	41
1.3.8 Rendimiento del proceso de depuración .....	45
1.4 Estudio de Impacto Ambiental.....	46
1.4.1 Línea Base.....	46
1.4.2 Valoración e Identificación de Impactos Ambientales – Mediante la Matriz de Leopold.....	46
1.5 Marco Legal.....	48

<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>49</b>
<b>2. PARTE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>49</b>
<b>2.1 Reconocimiento del área de investigación.....</b>	<b>49</b>
<b>2.1.1 Ubicación de las instalaciones .....</b>	<b>49</b>
<b>2.2 Metodología .....</b>	<b>49</b>
<b>2.2.1 Recopilación de la información .....</b>	<b>49</b>
<b>2.2.2 Levantamiento Topográfico .....</b>	<b>50</b>
<b>2.2.3 Medición del caudal .....</b>	<b>51</b>
<b>2.2.4 Muestreo y caracterización física, química y microbiológica del agua residual.....</b>	<b>51</b>
<b>2.2.5 Prueba de coagulación, floculación y sedimentación .....</b>	<b>55</b>
<b>2.2.6 Propuesta de diseño.....</b>	<b>58</b>
<b>2.2.7 Elaboración de mapas y planos.....</b>	<b>59</b>
<b>2.2.8 Valoración e identificación de impactos ambientales .....</b>	<b>59</b>
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>62</b>
<b>3. DIMENSIONAMIENTO .....</b>	<b>62</b>
<b>3.1 Rejillas de limpieza manual.....</b>	<b>62</b>
<b>3.2 Tanque de almacenamiento y coagulador.....</b>	<b>65</b>
<b>3.3 Floculador de flujo horizontal.....</b>	<b>74</b>
<b>3.4 Sedimentador de alta tasa.....</b>	<b>82</b>
<b>3.5 Eras de secado .....</b>	<b>89</b>
<b>3.6 Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA) .....</b>	<b>92</b>
<b>3.7 Tanque de desinfección.....</b>	<b>94</b>
<b>3.8 Tanque de almacenamiento final .....</b>	<b>98</b>
<b>3.9 Resumen del dimensionamiento.....</b>	<b>100</b>
<b>3.10 Rendimiento del proceso de depuración .....</b>	<b>106</b>
<b>3.11 Costos para la implementación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual.....</b>	<b>108</b>
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>110</b>
<b>4. RESUTADOS Y DISCUCIÓN.....</b>	<b>110</b>
<b>4.1 Recopilación de la información .....</b>	<b>110</b>

<b>4.2</b>	<b>Topografía.....</b>	<b>111</b>
<b>4.3</b>	<b>Medición del Caudal .....</b>	<b>113</b>
<b>4.4</b>	<b>Muestreo y caracterización físico química y microbiológica del agua residual.....</b>	<b>114</b>
<b>4.5</b>	<b>Prueba de coagulación, floculación y sedimentación .....</b>	<b>127</b>
<b>4.6</b>	<b>Propuesta de diseño.....</b>	<b>140</b>
<b>4.7</b>	<b>Elaboración de planos .....</b>	<b>143</b>
<b>4.8</b>	<b>Valoración e identificación de impactos ambientales .....</b>	<b>144</b>
	<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>148</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>148</b>
<b>5.1</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>148</b>
<b>5.2</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>150</b>

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$v$	Viscosidad cinemática
$\alpha$	Ángulo de inclinación
$\beta$	Factor dependiente de la forma de las barras
$\delta$	Densidad del líquido
$\theta$	Ángulo de inclinación
$\mu$	Viscosidad dinámica del fluido
$\pi$	Pi
%Sólidos	Porcentaje de sólidos
$\sum_{i=1}^n T_f$	Sumatoria de las turbiedades finales individuales
$\rho_{HTH}$	Densidad del hipoclorito de calcio
A	Área
$a_1$	Separación real
$A_L$	Área libre al paso del agua
$Als_i$	Área individual de las eras de secado
$Als$	Área del lecho de sacado
Art.	Artículo
B	Ancho
°C	Grados Centígrados
C	Altura del rodete sobre el fondo del tanque
CEDAL	Corporación Ecuatoriana de Aluminio
CEPIS/OPS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias del ambiente
$C_1$	Concentración inicial
$C_2$	Concentración final
$Co$	Fracción de turbiedad residual
D	Diámetro
d	Separación entre la pantalla y la pared
Da	Diámetro del agitador
$Dm_{HTH}$	Dosis – masa de hipoclorito de calcio
Dd	Diámetro del sujetador de las paletas
$D_e$	Diámetro externo de la tubería
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
Dt	Diámetro del tanque

<b><i>E</i></b>	Rendimiento total (%)
<b><i>e</i></b>	Separación
<b>EP. EMAPA-G</b>	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda
<b><i>ET</i></b>	Rendimiento general de la planta
<b><i>G</i></b>	Gradiente de velocidad
<b><i>g</i></b>	Gravedad
<b>GAD</b>	Gobierno Autónomo Descentralizado
<b>H</b>	Altura
<b><i>Ha</i></b>	Profundidad de aplicación
<b><i>h<sub>a</sub></i></b>	Tirante del canal
<b>HTH</b>	Hipoclorito de Calcio
<b><i>h<sub>T</sub></i></b>	Altura total del tanque
<b><i>h<sub>o</sub></i></b>	Altura de seguridad o borde libre
<b><i>h<sub>1</sub></i></b>	Pérdida de la carga
<b>IGM</b>	Instituto Geográfico Militar
<b>J</b>	Ancho de las placas deflectoras
<b>K</b>	Coefficiente de pérdida
<b><i>k</i></b>	Constante de agitación
<b>L</b>	Longitud
<b><i>L'</i></b>	Longitud de transición
<b><i>Lr</i></b>	Longitud relativa
<b><i>Msd</i></b>	Masa de sólidos que conforman los lodos
<b><i>m<sub>HTH</sub></i></b>	Masa del hipoclorito de calcio
<b>mo</b>	Microorganismos
<b><i>N</i></b>	Velocidad de rotación
<b><i>n</i></b>	Número
<b><i>Nº Lechos</i></b>	Número de lechos
<b><i>Np</i></b>	Número de placas por modulo
<b>NTE</b>	Norma Técnica Ecuatoriana
<b>NUO</b>	Número Umbral de Olor
<b><i>N<sub>b</sub></i></b>	Número de barras
<b>OD</b>	Oxígeno Disuelto
<b>PAC</b>	Poli Cloruro de Aluminio
<b><i>P</i></b>	Potencia del motor
<b>pH</b>	Potencial Hidrógeno

<b>PTAR</b>	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
<b>Q</b>	Caudal
<b>Q<sub>i</sub></b>	Caudal instantáneo
<b>Q<sub>p</sub></b>	Caudal promedio
<b>r</b>	Radio
<b>RAS</b>	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico
<b>Re</b>	Número de Reynolds
<b>rmp</b>	Revoluciones por minuto
<b>R<sub>e</sub></b>	Remoción en cada etapa de tratamiento
<b>s</b>	Espesor de la tubería
<b>S.A.</b>	Sociedad Anónima
<b>S<sub>e</sub></b>	Concentración en el efluente para cada etapa de tratamiento
<b>S<sub>o</sub></b>	Concentración en el afluente
<b>SI</b>	Sistema Internacional
<b>STD</b>	Sólidos Totales Disueltos
<b>S</b>	Espesor
<b>SS</b>	Sólidos suspendidos
<b>Sc</b>	Parámetro característico para sedimentadores de placas paralelas
<b>t<sub>o</sub></b>	Tiempo óptimo de mezcla
<b>TULSMA</b>	Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente
<b>Td</b>	Tiempo requerido para la digestión de lodos
<b>To</b>	Turbiedad inicial
<b>Tr</b>	Tiempo de retención
<b>T<sub>f</sub></b>	Turbiedad final promedio
<b>UEB</b>	Universidad Estatal de Bolívar
<b>UNT</b>	Unidades Nefelométricas De Turbiedad
<b>V</b>	Volumen
<b>v</b>	Velocidad
<b>V</b>	Volumen
<b>V<sub>i</sub></b>	Volumen de cada muestra individual
<b>Vel</b>	Volumen de lodos a extraerse
<b>Vld</b>	Volumen diario de lodos digeridos
<b>V<sub>P. Jarras</sub></b>	Volumen de referencia de la prueba de jarras

<b><math>V_{disln}</math></b>	Volumen de agua para diluir hipoclorito de calcio
<b><math>V_{tanque}</math></b>	Volumen del tanque de almacenamiento y coagulación
<b>W</b>	Ancho unitario



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Relación de las revoluciones por minuto y gradientes de velocidad en la prueba de jarras.....	11
<b>Tabla 2.</b> Criterios de diseño para rejillas de limpieza manual.....	14
<b>Tabla 3.</b> Factores de forma $\beta$ para secciones usuales de barras de rejillas – Coeficientes de pérdida para rejillas. ....	18
<b>Tabla 4.</b> Criterios de diseño para un agitador (6 paletas).....	19
<b>Tabla 5.</b> Criterios de diseño para el floculador de flujo horizontal .....	24
<b>Tabla 6.</b> Criterios para el diseño de sedimentador de alta tasa.....	30
<b>Tabla 7.</b> Ventajas y desventajas de las eras de secado .....	35
<b>Tabla 8.</b> Criterios de Diseño para las eras de secado .....	35
<b>Tabla 9.</b> Tiempo requerido para la digestión de lodos .....	36
<b>Tabla 10.</b> Criterios de diseño para el filtro anaeróbico de flujo ascendente.....	39
<b>Tabla 11.</b> Materiales y equipos para la recopilación de información.....	49
<b>Tabla 12.</b> Materiales y equipos para la georreferenciación.....	50
<b>Tabla 13.</b> Materiales y equipos para la medición del caudal.....	51
<b>Tabla 14.</b> Materiales, equipos y reactivos para la caracterización del agua residual .....	52
<b>Tabla 15.</b> Parámetros y métodos de caracterización del agua residual .....	53
<b>Tabla 16.</b> Materiales, equipos y reactivos para la prueba de coagulación y floculación.....	55
<b>Tabla 17.</b> Valoración Magnitud e Importancia para la Matriz Causa – Efecto de Leopold. ....	59
<b>Tabla 18.</b> Evaluación de impactos según la Metodología de Leopold. ....	60
<b>Tabla 19.</b> Rangos para la Calificación Ambiental.....	61
<b>Tabla 20.</b> Dimensionamiento de rejillas.....	100
<b>Tabla 21.</b> Dimensionamiento del tanque de almacenamiento inicial .....	100
<b>Tabla 22.</b> Dimensionamiento del agitador de 6 paletas.....	100
<b>Tabla 23.</b> Dosificación de químicos para la coagulación y floculación .....	101
<b>Tabla 24.</b> Caudal de la tubería.....	102
<b>Tabla 25.</b> Dimensionamiento del floculador de flujo horizontal.....	102
<b>Tabla 26.</b> Dimensionamiento del sedimentador de alta tasa .....	103
<b>Tabla 27.</b> Dimensionamiento de las eras de secado .....	104
<b>Tabla 28.</b> Dimensionamiento del filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA) .....	104
<b>Tabla 29.</b> Dimensionamiento del tanque de desinfección .....	105
<b>Tabla 30.</b> Dosificación del desinfectante hipoclorito de calcio (HTH).....	105
<b>Tabla 31.</b> Dimensionamiento del tanque de almacenamiento final.....	105
<b>Tabla 32.</b> Remoción del proceso de coagulación y floculación .....	106
<b>Tabla 33.</b> Remoción del proceso de sedimentación .....	106

<b>Tabla 34.</b> Remoción de la filtración .....	107
<b>Tabla 35.</b> Rendimiento total de la planta de tratamiento de aguas residuales .....	107
<b>Tabla 36.</b> Costos para la implementación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual. ....	108
<b>Tabla 37.</b> Costos de los químicos para el tratamiento del agua residual. ....	109
<b>Tabla 38.</b> Resultados de la Georreferenciación .....	111
<b>Tabla 39.</b> Caudal promedio diario .....	113
<b>Tabla 40.</b> Resultado del volumen individual para conformar la muestra compuesta N°1 .....	114
<b>Tabla 41.</b> Resultados de análisis físico-químicos y microbiológica del agua residual.....	115
<b>Tabla 42.</b> Comparación de los valores promedio de los parámetros con la normativa vigente.	125
<b>Tabla 43.</b> Resultados de análisis físico-químicos antes y después de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación.....	127
<b>Tabla 44.</b> Resultados de la dosificación óptima en la prueba de jarras .....	128
<b>Tabla 45.</b> Resultados del pH óptimo en la prueba de jarras .....	129
<b>Tabla 46.</b> Resultados de la concentración óptima en la prueba de jarras .....	130
<b>Tabla 47.</b> Resultados del tiempo y gradiente óptimos de floculación en la prueba de jarras ...	131
<b>Tabla 48.</b> Resultados de la sedimentación en la prueba de jarras.....	133
<b>Tabla 49.</b> Resumen de resultados de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación.	134
<b>Tabla 50.</b> Resultados del rendimiento de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación.....	135
<b>Tabla 51.</b> Valores de afectaciones y agregación de impactos por cada factor ambiental.....	146
<b>Tabla 52.</b> Valoración de afectaciones y agregación de impactos por cada acción humana. ....	147

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Mapa de ubicación del proyecto.....	112
<b>Gráfico 3.</b> Variación del caudal diario .....	113
<b>Gráfico 4.</b> Variación de la turbiedad .....	117
<b>Gráfico 5.</b> Variación del pH .....	117
<b>Gráfico 6.</b> Variación de la conductividad.....	118
<b>Gráfico 7.</b> Variación de los sólidos totales disueltos.....	118
<b>Gráfico 8.</b> Variación de la temperatura .....	119
<b>Gráfico 9.</b> Variación de parámetros caracterizados químicamente. Parte 1 .....	119
<b>Gráfico 10.</b> Variación de parámetros caracterizados químicamente. Parte 2.....	120
<b>Gráfico 11.</b> Variación de parámetros caracterizados químicamente. Parte 3.....	121
<b>Gráfico 12.</b> Variación de parámetros caracterizados químicamente. Parte 4.....	122
<b>Gráfico 13.</b> Variación de oxígeno disuelto.....	123
<b>Gráfico 14.</b> Variación de DQO.....	123
<b>Gráfico 15.</b> Variación de DBO .....	124
<b>Gráfico 16.</b> Variación de coliformes totales.....	125
<b>Gráfico 17.</b> Variación de coliformes fecales .....	125
<b>Gráfico 18.</b> Parámetros para la dosificación, dosis óptima .....	129
<b>Gráfico 19.</b> Parámetros para la dosificación, pH óptimo .....	130
<b>Gráfico 20.</b> Parámetros para la dosificación, concentración óptima .....	131
<b>Gráfico 21.</b> Parámetros para la floculación, tiempo de floculación .....	132
<b>Gráfico 22.</b> Parámetros para la floculación, gradiente de velocidad.....	132
<b>Gráfico 23.</b> Parámetros para la floculación, gradiente vs tiempo.....	133
<b>Gráfico 24.</b> Parámetro para la sedimentación, velocidad de sedimentación .....	134
<b>Gráfico 25.</b> Rendimiento total para la remoción de turbiedad .....	136
<b>Gráfico 26.</b> Rendimiento total para la remoción de fosfatos.....	137
<b>Gráfico 27.</b> Rendimiento total para la remoción de fluoruros.....	137
<b>Gráfico 28.</b> Rendimiento total para la remoción de cobalto.....	138
<b>Gráfico 29.</b> Rendimiento total para la remoción de plomo .....	138
<b>Gráfico 30.</b> Rendimiento total para la remoción de bario .....	139
<b>Gráfico 31.</b> Rendimiento total para la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) .	139
<b>Gráfico 32.</b> Rendimiento total para la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	140
<b>Gráfico 33.</b> Rendimiento total de la planta propuesta para la remoción de DBO <sub>5</sub> .....	142
<b>Gráfico 34.</b> Rendimiento total de la planta propuesta para la remoción de DQO .....	143

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Vista frontal del canal .....	16
<b>Figura 2.</b> Vista frontal del canal con las barras y corte longitudinal .....	17
<b>Figura 3.</b> Forma de rejillas. ....	18
<b>Figura 4.</b> Dimensiones características de un agitador de turbina (6 paletas) .....	19
<b>Figura 5.</b> Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal.....	24
<b>Figura 6.</b> Propuesta de Diseño .....	141

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la conservación del ambiente es de importancia a nivel mundial. La contaminación del aire, suelo y especialmente del agua, es consecuencia de las actividades para suplir las necesidades del hombre; generando alteraciones en los ecosistemas originarios y efectos negativos sobre la población. (BUCA Y, 2013)

Las formas de desarrollo económico adoptados en la mayoría de los países, incluyendo al Ecuador, han resultado poco adecuadas para garantizar un desarrollo sustentable desde el enfoque ambiental y de la calidad de vida. (ROS, 1995)

El agua limpia es uno de los recursos más importantes para el desarrollo de vida, pero sus características químicas la hacen fácilmente contaminable. La gran cantidad de aguas residuales descargadas sin un tratamiento previo generan una preocupación notable. Por esto, se han desarrollado y se siguen desarrollando diversos tipos de tratamiento para el agua residual. El tratamiento químico complementado con el tratamiento físico, ha probado ser efectivo para aguas residuales con mayor carga contaminante de origen químico. (ARBOLEDA, 2000)

En el cantón Guaranda de la Provincia Bolívar, la Empresa Pública Municipal de Agua Potable (EP. EMAPA-G), cuenta con un Laboratorio de Control de Calidad para el sistema de potabilización en Chaquishca. Éste dispone de las áreas de análisis fisicoquímicos, análisis y microbiológicos, una sala de reunión y una oficina con servicio higiénico. En el laboratorio se realizan mediciones de parámetros de control establecidos en la normativa ecuatoriana NTE-INEN 1108:2011, para lo que se utilizan equipos específicos y sus reactivos correspondientes que en su mayoría son tóxicos y peligrosos. A esto se suma la elaboración de soluciones y pruebas de coagulación. Dichas actividades generan aguas residuales ya sea por el lavado del material o por eliminación directa después del análisis o pruebas. (EP. EMAPA-G, 2014)

El laboratorio carece de una disposición final adecuada de sus aguas residuales y todos los químicos peligrosos producto de los análisis, van a parar a una fosa séptica sin ningún control. Químicos que comprenden: soluciones ácidas, reactivos con metales pesados, entre otros. Los metales pesados tienen la característica de bioacumularse y persistir en la cadena trófica. (INFANTE, 2002)

Existe el riesgo potencial de contaminación del suelo, agua y todo lo que tenga contacto con él, como flora y fauna. Esta situación representa una grave amenaza para la salud de los moradores, que se dedican en su gran mayoría a la agricultura.

## ANTECEDENTES

La sabia naturaleza se cura a sí misma y se renueva, el agua no puede ser su excepción, desde tiempos inmemorables lo hace mediante el ciclo del agua, pero, el incremento de la población mundial ha ocasionado un elevado consumo de recursos y la proliferación de industrias y asentamientos humanos. Por consiguiente, la naturaleza por sí sola no puede manejar tanta carga contaminante en corto tiempo. El ser humano necesita de un ambiente limpio y sobre todo para sus futuras generaciones, y es él mismo, el que tiene que comenzar a limpiar lo que ha ensuciado por tantos años, especialmente en un recurso tan importante e indispensable como el agua. (BENAYAS, 1989)

Los procesos de depuración naturales del agua, han servido de partida para los procesos desarrollados y utilizados actualmente, sumando el plus de investigación para contaminantes específicos y sobre todo implementación de tecnologías. Así han surgido las plantas de tratamiento de aguas residuales, dónde se controlan las variables del sistema, se adicionan químicos que aceleran procesos y disminuyen tiempos de depuración. (ROS, 1995)

En América Latina, apenas el 10% de las aguas residuales se someten a un tratamiento adecuado, según la Unesco. Algunos de los países latinos que cuentan con un mayor porcentaje de saneamiento público son: Chile, Guatemala, Colombia, Perú, Uruguay, Venezuela, Ecuador, entre otros. (OROZCO, 2005)

En Perú en el periodo 2012-2013 la compañía de minas Buenaventura S.A. desarrolló e implementó una planta de tratamiento de aguas residuales, para el proyecto minero Escopeta, ubicado en el distrito de Huachocolpa, provincia y región de Huancavelica. La PTAR tiene como objetivo la remoción de sólidos suspendidos, metales pesados y la demanda química de oxígeno (DQO) y está conformada por las siguientes operaciones: Ecuilización, Precipitación química, coagulación – floculación, sedimentación, disposición final, tratamiento y disposición de lodos. (PERÚ EIA, 2012)

En Ecuador, en el periodo desde el 2008 al 2010, se desarrolló e implementó una planta de tratamiento de agua residual para la Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A. CEDAL, ubicada en la zona urbana de Latacunga, provincia de Cotopaxi. La PTAR tiene como objetivo la remoción de: sólidos sedimentables, sólidos en suspensión, aluminio disuelto, demanda química de oxígeno (DQO) y la regulación del pH. Está conformada por las siguientes unidades de operación: tanque de igualación, tanque para ajuste diferenciado de pH, tanque de neutralizado, floculador clarificador, sedimentador, tanque de almacenamiento, unidad de

filtración a través de arena y carbón activado y tanque de almacenamiento para fines de recirculación parcial y un tanque espesador de lodos para su posterior deshidratación en un filtro de prensa. (SOLÍS, 2008)

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se han realizado diversos estudios sobre el tratamiento de aguas residuales, un ejemplo es una investigación desarrollada a finales del año 2014, el Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para el teñido en la Curtiduría Tungurahua S.A, el estudio discute el tratamiento de un agua industrial mediante una PTAR, que cuenta con: un tanque de circulación, floculación y coagulación, sedimentador primario, filtros y sedimentador secundario, para reducir: la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), fluoruros, cromo, sulfatos, sólidos sedimentables y suspendidos. (ARELLANO, 2014)

Otro ejemplo es el Rediseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ubicado en Marcopamba, Cantón Guaranda, provincia Bolívar, en el año 2014. Los procesos de la planta con el rediseño son: sistema de rejillas, desarenador, sedimentador, filtración y oxidación biológica. Para mejorar la remoción de: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), la demanda química de oxígeno (DQO), sólidos sedimentables y suspendidos. (BUCAY, 2013)

En el año 2008 en la provincia Bolívar, cantón Guaranda, se creó el Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G, con financiamiento municipal y en los siguientes años se mejoraron y adecuaron las instalaciones. El objetivo de la EP. EMAPA-G, es la prestación de los servicios de alcantarillado y agua potable, la empresa es responsable de todo lo que tenga que ver con estos aspectos, desde administración, hasta mantenimiento y regulación. (EP. EMAPA-G, 2014)

En el laboratorio se realizan análisis físico químicos y microbiológicos de agua potable, residual y lixiviados, también se preparan diversas soluciones químicas y pruebas de coagulación, para lo que comúnmente se utilizan químicos tóxicos peligrosos. (ZÚÑIGA, 1999) Actualmente, el agua residual del laboratorio, junto con los reactivos químicos producto de los análisis, son descartados en los lavabos, el efluente pasa por dos cajas de revisión y su destino final es una fosa séptica a punto de colapsar, ubicada a 12 metros del laboratorio, a 15 metros de cultivos y a 30 metros de una vivienda. (EP. EMAPA-G, 2014)

Hasta ahora no existe ningún estudio de las aguas residuales del Laboratorio de Control de Calidad y tampoco estrategias de mitigación, esto de acuerdo a la información proporcionada por el departamento de control de calidad de la EP. EMAPA-G.

## JUSTIFICACIÓN

Todos los habitantes del planeta necesitamos el agua para subsistir y la usamos a lo largo de nuestra vida, generando gran cantidad de agua residual, producto de todas las actividades desde domésticas hasta industriales. Estas aguas al ser descargadas indiscriminadamente, sin un tratamiento previo, afectan significativamente al ambiente y ponen en riesgo a la salud humana, debido a que presentan altas concentraciones de contaminantes.

En la actualidad para preservar el medio ambiente, recuperar y mantener el recurso hídrico y cuidar la salud pública, se requiere desarrollar e implementar procesos de tratamiento para aguas residuales. Cabe recalcar que diferentes tecnologías se han desarrollado para tratamientos de tipo químico, de tipo biológico y tratamientos mixtos.

En el Ecuador, la situación es preocupante, ya que la mayoría de sus aguas residuales son descargadas sin ningún tratamiento previo pese a que existe la normativa Ecuatoriana TULSMA, que indica que cada institución, empresa o fábrica es responsable de sus descargas de aguas residuales, y será sometida a auditorías de control. A medida que la ley se ha vuelto más rigurosa y al aumento de multas ambientales, sumada la preocupación ambiental, se ha generado el desarrollo de proyectos e implementación de PTAR a lo largo y ancho de todo el Ecuador, en modelos centralizados para municipios grandes como en Cuenca y modelos descentralizados para emisores puntuales, como pequeñas poblaciones, microindustrias, laboratorios, entre otros. (ROS, 1995)

En la provincia Bolívar se han desarrollado algunos proyectos, en Salinas, una PTAR para la quesera “El Salinerito”, también se desarrolló el estudio e implementación de una PTAR para la “Hilandería Intercomunal Salinas”, en el mismo poblado; estos proyectos fueron de importancia para mitigar la polución que estas microindustrias estaban generando, mejoró la sanidad del sector y ayudó para que sus descargas cumplan con la legislación ambiental. (BUCAY, 2013)

En la provincia Bolívar, en el Cantón Guaranda, existe el Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G, el cual carece de un tratamiento para sus vertidos generados y de acuerdo a las actividades que se desarrollan en el laboratorio, sus aguas residuales contienen contaminación química, por si fuera poco estos residuos químicos tóxicos y peligrosos se almacenan en una bomba de tiempo, que es una fosa séptica a punto de colapsar, la misma que no ha recibido mantenimiento desde su construcción. Todos estos factores solo pueden provocar serios problemas ambientales, produciendo contaminación a su alrededor, además, se alteran las condiciones naturales del medio, afectando a la flora, fauna y a las personas que



viven en los alrededores del laboratorio, que en su mayoría se dedican a la agricultura, y sus cultivos también se ven afectados, por su proximidad al laboratorio. (EP. EMAPA-G, 2014)

Por lo expuesto se ha visto la necesidad de diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para el Laboratorio, que es de vital importancia para preservar el ambiente, el recurso hídrico y proteger la salud pública.

El diseño de la Planta de tratamiento de agua residual, es conveniente y necesario, para que su futura implementación permita que el Laboratorio cumpla con la normativa ecuatoriana.

El desarrollo del presente proyecto contribuirá a que la población del cantón Guaranda y quienes habitan en el área de influencia directa, se vean beneficiadas en cuanto a calidad y salud ambiental. Esto apunta directamente a la relevancia del proyecto, puesto que es de interés social, especialmente para los pobladores de la zona porque ellos tienen derecho a vivir en un ambiente sano como lo cita la constitución Ecuatoriana, Derechos del Buen Vivir, en su segunda sección, Art. 14.

Este proyecto da la pauta para la solución de este problema que se ha ignorado por años, de acuerdo a las entrevistas realizadas al gerente de la EP. EMAPA-G, MSc. Max Jiménez, la preocupación por la contaminación que pueden causar sus aguas residuales, es actual.

Además, el presente estudio pretende ser un aporte teórico que sirva de referencia para la elaboración de proyectos similares en toda la serranía Ecuatoriana.

La investigación se enmarca en las líneas prioritarias de investigación y transferencia tecnológica de la Escuela Superior politécnica de Chimborazo, específicamente: para el sector de recursos naturales y ambiente, el área de Biotecnología, la línea de investigación “*Diseño de sistemas de tratamiento y reciclaje de desechos sólidos, líquidos y gases*”. (ESPOCH, 2011)

El proyecto cuenta con el aval de la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, que respalda la investigación con recursos económicos, técnicos y humanos. Brinda su apoyo para las actividades que abarca el proyecto desde la caracterización inicial hasta el diseño integro de la planta, proporcionando la apertura del laboratorio.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para el Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G, cantón Guaranda, provincia Bolívar.

### **Objetivos Específicos**

- Medir el caudal efluente del Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G
- Caracterizar física, química y microbiológicamente, el agua residual proveniente del laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G.
- Realizar la prueba de coagulación, floculación y sedimentación para obtener parámetros de diseño y dosificación.
- Dimensionar la planta de tratamiento de agua residual para el laboratorio de Control de Calidad de la EMAPA-G.
- Determinar el rendimiento teórico de la planta de tratamiento de aguas residuales para la remoción de los principales contaminantes.

# **CAPÍTULO I**

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Agua Residual.**

Es el agua que ha sufrido variaciones en sus características naturales, debido a los usos que le ha dado el ser humano en actividades como: domésticas, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarias y comunitarias; incluyendo fracciones y mezclas de ellas. De esto resulta una combinación de sustancias líquidas, emulsiones y residuos sólidos, además las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual.

Estas aguas son transportadas generalmente por una red de alcantarillado, que las conducirá a un lugar apropiado. Pero al ser vertidas en varios cuerpos receptores sin un tratamiento previo, implican una alteración de los ecosistemas terrestres y acuáticos, además de afectar a la salud humana. (ARCE, 2000)

#### **1.1.1 Características de las Aguas Residuales**

Las aguas residuales muestran características físicas, químicas y biológicas diferentes a los demás tipos de agua, incluso entre sí varían, dependiendo de su origen.

Conocer estas características es de suma importancia para establecer los efectos del vertimiento a un cuerpo receptor, y la selección de procesos y las operaciones indicadas para el tratamiento de las mismas. (BARRENECHEA, 2004)

##### **1.1.1.1 Características Físicas**

Las características físicas comprenden: temperatura, olor, color, turbiedad, sólidos, densidad y conductividad eléctrica. La determinación correcta de turbiedad y de sólidos totales en una muestra de agua residual, es de notable importancia para una caracterización preliminar.

a. **Temperatura.** La del agua residual generalmente se encuentra entre un rango de 10 a 20 °C, por la mezcla de diferentes tipos de aguas residuales. Es un parámetro importante para determinar el tratamiento que se le va a dar al agua residual, a temperaturas cálidas (25 a 36°C), es conveniente el tratamiento biológico y a temperaturas frías (< 16 °C), es mejor un tratamiento químico. (ROMERO, 2004)

b. **Olor.** En las aguas residuales, se dan por la descomposición de la materia orgánica y por los gases que se emanan en este proceso. Además de varios productos químicos que solos o en mezcla producen olores propios. (METCALF & EDDY, 2009)

Un olor desagradable denota contaminación y causa molestias de inmediato, como: dificultades para respirar normalmente, náuseas, deterioro de las relaciones humanas, entre otros. En las PTAR existen olores fuertes, especialmente por los lodos residuales de los tratamientos, por eso es necesario tomar medidas con el fin de neutralizar olores y estabilizarlos, generalmente se utiliza cal. En los alrededores de la planta de tratamiento se pueden hacer barreras vegetales con árboles adecuados. (ROMERO, 2004)

c. **Color.** En los efluentes vertidos se da cuando existen sólidos suspendidos, así como materia gelatinosa y sustancias en solución. El color se origina cuando el agua residual se une a desechos orgánicos, también la presencia de hierro, magnesio, taninos, ácido húmico y polución industrial generan colores característicos.

El color en las aguas residuales, especialmente en las industriales, es un indicador de contaminación, y su color nos puede dar una idea de los químicos que contienen, previo a los análisis para determinar su composición. Las industrias de textiles y las que generan pulpa de papel, descargan aguas residuales con altas cargas contaminantes, presentando colores intensos. Pero si el agua residual se presenta incolora, no significa que esté pura, es necesario realizar los análisis correspondientes para determinar su estado. (CRITES, 2000)

d. **Turbiedad.** En el agua residual, se origina por la presencia de material suspendido y sólidos. Las aguas residuales habitualmente son turbias. Este es un indicador para el control de calidad en aguas residuales que han recibido un tratamiento. (METCALF & EDDY, 2009)

e. **Sólidos.** Las aguas residuales presentan en su constitución una gama de materiales sólidos, de diferentes tamaños. Además varias partículas pueden encontrarse en suspensión, disueltas o en estado coloidal. Los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales contienen a su vez fracciones de sólidos fijos, volátiles y en forma similar a los disueltos, están relacionados con la turbiedad del agua residual. (CRITES, 2000)

- f. **Densidad.** En el agua residual, la densidad puede ser mayor, por la presencia de sustancias coloidales y espesantes. En las unidades de tratamiento de las aguas residuales, tiene incidencia para la formación de fangos. (ROMERO, 2004)
- g. **Conductividad Eléctrica.** Se presenta el agua residual cuando esta contiene varios iones en solución, provenientes generalmente de minerales. Tiene una relación con los sólidos totales disueltos. (ROMERO, 2004)

#### 1.1.1.2 Características Químicas

Conocer las características químicas de las aguas residuales, es de vital importancia. Porque de esa forma se puede orientar el tratamiento más idóneo a dichas aguas en función de los parámetros que se encuentren fuera de límites permisibles. Las principales características químicas son: Compuestos Orgánicos Biodegradables, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Oxígeno Disuelto (OD), Alcalinidad, pH, Surfactantes, Aceites y grasas, Nitrógeno, Fósforo, Formas de azufre y Metales pesados.

- a. **Compuestos Orgánicos Biodegradables.** Están presente en las aguas residuales, esencialmente por: proteínas (40 a 60%), carbohidratos (25 a 50%) y lípidos (10%). Sus porcentajes varían dependiendo de su origen. (RAMALHO, 2003)
- b. **Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Es la cantidad de oxígeno disuelto que se consume en una reacción química durante la oxidación. Su valor se usa para determinar las condiciones de biodegradabilidad y el contenido de compuestos tóxicos en el agua residual, también es un indicador de contaminación; su disminución ayuda para determinar la eficiencia en las etapas de tratamiento. (RAMALHO, 2003) (CRITES, 2000)
- c. **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).** Es una de las principales pruebas utilizadas para la evaluación y control de contaminación en el agua residual. Representa el oxígeno requerido para la eliminación de la materia orgánica, que contiene el agua residual, por el trabajo de organismos biológicos, como bacterias anaeróbicas. Está regulada por variables, como la temperatura, el pH, oxígeno, nutrientes, crecimiento bacteriano, y el tiempo. (RAMALHO, 2003) (CRITES, 2000)
- d. **Oxígeno Disuelto (OD).** Es uno de los principales indicadores de contaminación de las aguas residuales. El OD puede disminuir por la respiración de microorganismos, plantas acuáticas y organismos macroscópicos, también por el aumento de temperatura, y las

reacciones químicas que consumen oxígeno. Es inversamente proporcional con la  $\text{DBO}_5$  y la DQO, esto quiere decir que a medida que aumenta el  $\text{DBO}_5$  o DQO, el OD disminuye. (ROMERO, 2004)

- e. **Potencial Hidrógeno (pH).** Es el factor de medida para poder determinar los iones de hidrógeno como contaminantes. Si su valor se ubica entre 0 y 7, la disolución es ácida, cuando está entre 7 y 14, la disolución es básica o alcalina. (RAMALHO, 2003)
  - h. Para el tratamiento de aguas residuales, su valor debe tender a la neutralidad o debe ser ligeramente alcalina, entre 6.5 y 8.5, el máximo aceptado es 9, donde relativamente existe la mayor parte de la vida biológica y el valor mínimo es de 5. (METCALF & EDDY, 2009)
  - f. **Surfactantes.** Llegan a las aguas residuales por la utilización de detergentes. Generan inconvenientes para los procesos de aireación en las aguas. Son compuestos de materiales orgánicos activos en superficies líquidas, también se los denomina tenso-activos. Son sustancias que combinan en una sola molécula, un grupo hidrofóbico (insoluble en agua y soluble en grasas) en un extremo y al otro extremo un grupo hidrofílico (soluble en agua e insoluble en grasas). (OROZCO, 2005)
  - g. **Aceites y Grasas.** Están formadas por cadenas largas de hidrocarburos. Pueden ser de origen vegetal o animal, pueden ser tratadas en plantas de tratamiento biológico. En el agua residual suben a la superficie y forman natas, a manera de películas indeseables, estas afectan a los sistemas de recolección de las aguas residuales, a los tanques sépticos y al mantenimiento del sistema de tratamiento si no se las retiene al inicio. También pueden ocasionar arrastre de sólidos y generar colmatación. Dependiendo del origen del agua residual, se recomienda la construcción de una trampa de grasas. (CRITES, 2000)
- Deben ser manejados con un gestor ambiental, para evitar el contacto con suelo y cuerpos de agua vulnerables, porque afectan significativamente el medio que son vertidos y por ende a la flora y la fauna. (OSORIO, 2003)
- h. **Nitrógeno (N).** Es un nutriente primordial para el crecimiento de microorganismos y algas, que en exceso generan contaminación. Pueden encontrarse en forma amoniacal, de nitritos, de nitratos o nitrógeno orgánico. Si se encuentran nitritos ( $\text{NO}_2$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3$ ) existen procesos biológicos activos en el agua. La contaminación en aguas residuales por estos elementos se dan por la presencia de orina de animales y de personas. Es un indicador significativo para poder valorar el tratamiento de efluentes por medios biológicos. (METCALF & EDDY, 2009)

- i. **Fósforo (P).** Es un elemento preferente para el desarrollo de microorganismos y algas. Puede presentarse como: ortofosfatos, polifosfatos, y fosfatos orgánicos. Llegan a las aguas residuales por el estiércol de animales, aguas negras residenciales, aguas de escorrentías procedentes de tierras agrícolas y por actividades industriales. La medición de fosfatos orgánicos, es indispensable en los tratamientos biológicos de las aguas residuales. (RAMALHO, 2003)
- j. **Formas de Azufre (S).** En las aguas residuales, los sulfatos agregan problemas de olores. Además se pueden presentar como ion sulfato, es común en las aguas naturales, se encuentran desde concentraciones muy bajas hasta varios miles de mg/L. (ROMERO, 2004)
- k. **Metales Pesados.** Son un conjunto de elementos que poseen una densidad relativa del metal mayor de 4 o 5. Los principales que comprenden este grupo son: plata, bario, cadmio, cobre, zinc, cromo, cobalto, níquel, plomo, hierro, mercurio, titanio, vanadio, manganeso, entre otros. Su toxicidad varía de acuerdo a la forma en la que se presenten, pero generalmente en altas concentraciones son muy tóxicos. Llegan a las aguas residuales por actividades industriales específicas, como la minería, entre otras. (RAMALHO, 2003)

#### 1.1.1.3 Características Biológicas

Las aguas residuales dependiendo de su origen, y las condiciones en las que se encuentre, pueden presentar grandes cantidades de microorganismos siendo estos benignos o patógenos. La caracterización biológica de las aguas residuales va desde los enfoques micro y macro; son importantes porque se pueden determinar organismos resistentes, posibles vectores, contaminación y riesgo biológico.

Los microorganismos patógenos, se pueden encontrar en efluentes domésticos y en efluentes de lugares que manipulen material biológico peligroso. Pueden ser bacterias, diferentes tipos de virus, e incluso protozoarios. (OSORIO, 2003)

#### 1.1.2 Caudal de las Aguas Residuales

Es el volumen de agua residual que pasa por una sección en un tiempo determinado. Es muy importante determinar el caudal para realizar los diferentes diseños y dimensionamientos que pueden tener las plantas de tratamiento para aguas residuales o para potabilización, si este valor fuera alterado o erróneo, sucederían problemas en el funcionamiento de las unidades de tratamiento. El caudal de las aguas residuales industriales, está relacionado directamente con las actividades que se realizan en una determinada industria. (METCALF & EDDY, 2009)

### 1.1.2.1 Medición del Caudal de las Aguas Residuales

El método a elegir depende básicamente de la cantidad del efluente, si es abundante o escasa, de la accesibilidad al punto de muestreo, y de la calidad y cantidad de registros de caudales necesarios para el estudio hidrológico preliminar. Los métodos que se pueden emplear para la su medición incluyen: el método volumétrico, vertederos o canales Parshall, estimación de caudales por bombeo, método del flotador, midiendo las variaciones de nivel de tanques que tengan descargas discontinuas, conociendo la velocidad y la superficie y a partir de datos de dotación.

- a. Medición del Caudal por el método volumétrico.** Consiste en la medición directa del agua residual que va llenando un envase con graduación, se va tomando el tiempo con un cronómetro hasta que el envase se llene, mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{T}$$

**Ecuación 1**

**Dónde:**

***Q***: Caudal (*L/s*)

***V***: Volumen (*L*)

***T***: Tiempo (*s*)

- b. Método velocidad/superficie.** Para este método es necesario saber la velocidad y la superficie de recorrido del fluido, se emplea la siguiente ecuación:

$$Q = A * v$$

**Ecuación 2**

**Dónde:**

***Q***: Caudal de diseño

***A***: Área transversal (*m<sup>2</sup>*).

***v***: Velocidad (*m/s*).



Para realizar una estimación del caudal que pasa por una tubería de dimensiones conocidas, se hace valer la geometría de la tubería y se consideran aspectos como el diámetro interno de la tubería y el área transversal, que se encuentran mediante las siguientes ecuaciones:

$$D_i = (D_e - s)$$

**Ecuación 3**

**Dónde:**

$D_e$ : Diámetro externo de la tubería ( $m$ )

$s$ : Espesor de la tubería ( $m$ )

$$A = \frac{D_i^2 \pi}{4}$$

**Ecuación 4**

**Dónde:**

$D$ : Diámetro de la tubería ( $m$ )

$\pi$ : 3.1416

### **1.1.3 Muestreo de Aguas Residuales**

Es una técnica que consiste en extraer una parte representativa, del efluente de interés, con el propósito de analizar sus características y poder determinar sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Por lo tanto identificar los contaminantes que contiene y poder tener un juicio del tipo de agua que se va a tratar y métodos para tratarla. Es de vital importancia que la muestra además de ser representativa, sea reproducible, sustentada y útil.

El muestreo de las aguas residuales también sirve para obtener datos sobre el desempeño de diferentes procesos en una planta de tratamiento, también para implementar nuevos programas o propuestas y para reportar acerca del cumplimiento y seguimiento de la normativa vigente. El protocolo para el muestreo correcto del agua residual se encuentra en el **Anexo 1**. (METCALF & EDDY, 2009)

#### **1.1.3.1 Clasificación las Muestras**

- a. **Muestra Simple.** Representa las cualidades del efluente, en el instante que fue tomada, que quiere decir que es una muestra puntual.

Este tipo de muestra es propicia para la determinación de temperatura, pH, cloro residual, alcalinidad, acidez, grasas, y coliformes. Esta muestra no es representativa cuando el efluente es muy variado.

- b. Muestra Compuesta.** Se conforman por la mezcla de varias muestras simples, tomadas en el mismo sitio pero en diferentes tiempos. Esta muestra es representativa en comparación con la simple. Se recomienda para el volumen total de la muestra de 2 a 4 L.

Para el cálculo del volumen de las muestras individuales, que van a conformar la muestra total, se emplea la siguiente ecuación:

$$V_i = \frac{(Q_i * V)}{(Q_p * n_o)}$$

**Ecuación 5**

**Dónde:**

$V_i$ : Volumen de cada muestra individual (L)

$V$ : Volumen total de la muestra compuesta (L)

$Q_i$ : Caudal instantáneo (L/min)

$Q_p$ : Caudal promedio (L/min)

$n_o$ : Número de muestras tomadas (a dimensional)

- c. Muestra Integrada.** Se conforma por varias muestras simples tomadas en diferente ubicación, pero al mismo tiempo. Este muestreo es representativo y recomendado para evaluar ríos, tratamiento de efluentes separados, en corrientes de agua amplias. (METCALF & EDDY, 2009)

#### **1.1.4 Clasificación de las Aguas Residuales**

Su clasificación se encuentra ligada a las actividades de las cuales proceden. Se les denomina aguas residuales domésticas, a las provenientes de poblaciones, viviendas, edificios comerciales e institucionales. Aguas residuales municipales, a los residuos líquidos que viajan por la red de alcantarillado y tratados en una planta municipal. Aguas Negras, a las provenientes de inodoros. Aguas Grises, a las conformadas por las aguas de lavamanos, duchas y lavadoras. (CRITES, 2000)

Las aguas residuales industriales se originan en actividades donde se empleó agua para procesos de transformación y manipulación, son muy variables en su composición, por lo tanto sus características dependerán de que actividad que desarrolle. Deben recibir un tratamiento previo antes de ser descargadas a cualquier cuerpo receptor.

Por sus características cambiantes, sus tratamientos también pueden ser cambiantes. Sin embargo, se utilizan mucho los mismos tratamientos tanto para aguas residuales municipales, como para aguas residuales industriales. (RAMALHO, 2003)

## **1.2 Tratamiento de las aguas residuales**

Son los medios físicos que se utilizan para mejorar la calidad del agua residual, se puede utilizar un tratamiento biológico o químico, según lo amerite, dependiendo de los contaminantes presentes. En el pasado el objetivo del tratamiento era la remoción de parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos y patógenos. En la actualidad, toma cada vez más importancia la remoción de nutrientes, de compuestos tóxicos y la reutilización de los efluentes. Lo que genera un reto para el tratamiento de las aguas residuales, muy alcanzable con un análisis adecuado y una selección acertada de los tratamientos y métodos. (RAMALHO, 2003)

La presencia de contaminantes inorgánicos, tóxicos, especialmente los metales pesados, en concentraciones apreciables causan problemas de inhibición en el tratamiento biológico, por lo tanto el tratamiento químico es el más adecuado. Si se desea hacer un tratamiento parte químico y parte biológico, se debe tomar en cuenta tratar previamente el efluente químico antes de ser parte de todo el sistema de tratamiento. (CRITES, 2000)

### **1.2.1 Métodos de tratamiento de aguas residuales**

Están constituidos por operaciones y procesos unitarios combinados, con el fin de mejorar la calidad del agua residual, disminuyendo los contaminantes presentes. En términos generales se comprenden los tratamientos: preliminar, primario, secundario y terciario. La selección adecuada de los procesos deben estar correlacionados con la naturaleza del efluente vertido, compatibilidad entre procesos, recursos disponibles, entre otros. (RAMALHO, 2003)

### 1.2.1.1 Tratamiento Preliminar

Son procesos físicos para eliminar las características indeseables de las aguas residuales procedentes de la recolección. Entre ellos se encuentra el uso de tamices, grillas y rejillas, para quitar partículas grandes, trituradoras para sólidos grandes, pre-aireación para el control de olores y remoción de grasa. (RAMALHO, 2003)

### 1.2.1.2 Tratamiento Primario

Se da una clarificación primaria, incluye la remoción de sólidos fácilmente sedimentables antes del tratamiento biológico. Las cámaras de sedimentación son la unidad principal, pero también se emplean procesos como: la flotación, la coagulación y floculación. (RAMALHO, 2003)

**a. Coagulación y Floculación.** Es un proceso, que primero en la coagulación se forman pequeñas partículas por la neutralización de cargas, de los colides en suspensión con carga negativa, por la adición de químicos. Luego se da la floculación, cuando las partículas coaguladas se unen y forman un aglomerado de mayor tamaño denominado “floc” o flóculo, gracias a la formación de puentes químicos. Consiste en un acondicionamiento del agua para formar flóculos que puedan ser removidos fácilmente mediante sedimentación o filtración. (MARRÓN, 1992)

Los químicos utilizados para el proceso de coagulación y floculación, son:

- i. **Poli cloruro de aluminio (PAC).** Es usado como coagulante en el proceso de potabilización, en el tratamiento de aguas residuales, en la industria del papel y en la industria del cuero. Producto obtenido por reacción de hidróxido de aluminio con ácido clorhídrico en cantidades y condiciones adecuadas.
- ii. **Auxiliar de la coagulación (Chemfloc).** Es un floculante sólido aniónico, está compuesto por cloruro de trimetil amonio-acrilamida copolímero. Ayuda a la coagulación con bajas dosis, son capaces de flocular sólidos, coloides e hidróxidos.
- iii. **Sulfato de Aluminio ( $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$ ).** Puede estar en forma sólida o líquida. La sólida se presenta en placas compactadas gránulos de diversos tamaños y polvo. Su fórmula teórica es  $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ . Sus soluciones acuosa son muy ácidas. (BARRENECHEA, 2004)
- iv. **Cal ( $\text{CaO}$ ).** Es utilizada para estabilización y control de pH, se encuentra vinculada al tratamiento de agua potable, tratamiento de agua residual y sus lodos, recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos y solventes químicos, desulfuración de los gases de la combustión, tratamiento de los residuos sólidos y

sus lixiviados e indirectamente la estabilización o transformación de suelos inestables y expansivos en suelos aptos para servir de base de pavimentos. (MARRÓN, 1992)

Para la correcta dosificación de los químicos, se realiza un ensayo a escala de laboratorio mediante un jar Test o prueba de jarras, el mismo que permite manipular variables como la concentración de coagulante, pH, velocidad de mezclado, y comparar diferentes coagulantes.

Esta prueba da como resultado valores óptimos para el tratamiento del agua residual y ayuda a predecir el funcionamiento de los equipos a gran escala. La turbiedad determinada antes y después del tratamiento es un indicador de suma importancia para realizar la comparación. (OPS/CEPIS, 2003)

El aparato cuenta básicamente con un medidor de rpm (revoluciones por minuto) que permite el control de la velocidad de mezclado, una lámpara para observar de mejor manera los cambios, agitadores para remover el contenido de vasos de precipitación generalmente de 1 litro, algunos equipos tienen cronómetro integrado. El equipo de jar test o prueba de jarras puede tener desde 3 agitadores hasta 8 agitadores. (RUSHTON, 1993)

**Tabla 1. Relación de las revoluciones por minuto y gradientes de velocidad en la prueba de jarras.**

rpm	Gradiente (s <sup>-1</sup> )
20	20
35	40
45	60
60	80

Fuente: GTZ-OPS/OMS-HPE-CEPIS, 1993.

En la prueba de jarras, para la dosis óptima, pH óptimo, concentración óptima y parámetros de floculación; se obtienen los valores necesarios para la realización de las gráficas por medición directa.

Para la obtener el rendimiento de la prueba de coagulación y floculación, se realizan las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Remanente} = \frac{C_2 * 100\%}{C_1}$$

**Ecuación 6**

**Dónde:**

**C<sub>1</sub>**: Concentración inicial (antes del tratamiento) (*mg/L*)

**C<sub>2</sub>** : Concentración final (después del tratamiento) (*mg/L*)

**% Remoción**: Porcentaje de remoción

$$E = 100\% - \% \text{Remoción}$$

**Ecuación 7**

**Dónde:**

**E**: Rendimiento total (%)

**% Remoción**: Porcentaje de remoción

**b. Sedimentación.** Se encarga de la remoción de los sólidos suspendidos y DBO, mediante la gravedad para separar una partícula de densidad superior a la del líquido hasta un lugar de almacenamiento. Usualmente la eliminación que se alcanza es solo parcial ya que depende de la materia que se trate, temperatura del agua y la amplitud de los tiempos de retención. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en las PTAR. El propósito es obtener un efluente clarificado, este proceso produce fangos. (ROMERO, 2004)

Se utiliza la prueba de jarras para determinar parámetros de sedimentación, es necesario el cálculo de la velocidad de sedimentación, la turbiedad final promedio y la fracción de turbiedad residual. Encontramos los valores de interés mediante las siguientes ecuaciones:

$$v_s = \frac{h}{t}$$

**Ecuación 8**

**Dónde:**

**v<sub>s</sub>**: Velocidad de sedimentación (*cm/s*)

***h***: Altura del agua libre de sedimento en el vaso de precipitación (*cm*)

***t***: Tiempo de sedimentación (*s*)

$$\overline{Tf} = \frac{\sum_{i=1}^n Tf}{n}$$

**Ecuación 9**

**Dónde:**

**$\overline{Tf}$** : Turbiedad final promedio (NTU)

**$\sum_{i=1}^n Tf$**  : Sumatoria de las turbiedades finales individuales (por vaso de precipitación) (NTU)

***n***: Número de turbiedades finales (unidades)

$$Co = \frac{\overline{Tf}}{To}$$

**Ecuación 10**

**Dónde:**

***Co***: Fracción de turbiedad residual

**$\overline{Tf}$** : Turbiedad final promedio (NTU)

***To***: Turbiedad inicial (NTU)

#### **1.2.1.3 Tratamiento Secundario**

Incluye la purificación de aguas residuales por medios biológicos, la mayor parte pueden clasificarse como tratamiento en el terreno, estanques o lagunas, lodos activados o métodos de filtración biológica. (RAMALHO, 2003)

#### **1.2.1.4 Tratamiento Terciario**

Abarca un gran número de procesos unitarios físicos y químicos que pueden usarse antes o después del tratamiento secundario para cumplir con los objetivos esperados. Permite disminuir algunos de los componentes del agua residual que no es posible reducir mediante el tratamiento secundario y reduce la turbiedad hasta niveles muy bajos, lo que asegura la eficacia del proceso de desinfección que se efectúa después de la filtración. Son tratamientos avanzados que se usan como complemento al proceso convencional de depuración biológica. (ROMERO, 2004)

- a. Filtración.** Remueve el color y en lo posible olor del agua residual, dónde el agua atraviesa un medio poroso, donde se queda retenido material en suspensión. Existen varias alternativas, por lo general están constituidos por grava y arena, pueden ser a presión, por gravedad, entre otros.
- b. Desinfección.** Su fin es la destrucción o inactivación de microorganismos patógenos que puedan causar enfermedades. El método más utilizado es la cloración, puede ser con cloro gas o el más usado y barato, el hipoclorito de calcio HTH, existen métodos más caros de desinfección como el método ultravioleta y la ozonificación; estos últimos son más utilizados para la potabilización y purificación para consumo humano. (ROMERO, 2004)

### 1.3 Dimensionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual

#### 1.3.1 Rejillas

Son elementos importantes dentro del diseño de las PTAR, están conformadas por barras, en su preferencia metálicas, con un espesor y separadas de acuerdo sea la exigencia del caso. Su estructura sirve para que en esta se retengan sólidos y material que pueden afectar el funcionamiento de los demás elementos de la planta, como bombas, tuberías, entre otros. (METCALF & EDDY, 2009)

En función al modo de limpieza que pueden ser manual y mecánica (automática).

- a. Rejillas de limpieza mecánica o automática.** Estas son indicadas para PTAR de gran tamaño, en general se recomiendan para gastos o caudales continuos mayores a 50 L/s en adelante.
- b. Rejillas de limpieza manual.** Se usan en PTAR pequeñas, donde la limpieza manual es viable. Su inclinación es de 30 a 45 grados, con respecto al plano horizontal. La separación de sus barras rectas pueden ser: grandes, de 5 a 10 centímetros o pequeñas, de 2 a 4 centímetros. Para el ancho del canal y la separación entre barras se pueden considerar medidas típicas. (RAS, 2000)

Los criterios de diseño para las rejillas de limpieza manual, se indican en la **Tabla 2**.

**Tabla 2. Criterios de diseño para rejillas de limpieza manual.**

Parámetro	Rango	Unidad
Espaciamiento entre las barras	15 – 50	mm



*Separación entre las barras	25 – 50	mm
Velocidad de aproximación	0.3 – 0.6	m/s
Velocidad a través de las barras	0.3 – 0.6	m/s
Ángulo de inclinación	60 – 45	° (Grados)

\*Fuente: Metcalf & Eddy., 1995.

Fuente: Norma Colombiana RAS., 2000.

Para el dimensionamiento de las rejillas de limpieza manual, se emplean las siguientes ecuaciones:

- **Área libre al paso del agua ( $A_L$ ) o lo que se conoce también como área transversal ( $A_t$ ).** Se aplica la ecuación de la continuidad.

$$A_L = \frac{Q}{v}$$

**Ecuación 11**

**Dónde:**

$A_L$ : Área libre al paso del agua ( $m^2$ )

$Q$ : Caudal ( $m^3/s$ )

$v$ : Velocidad ( $m/s$ )

- **Altura del tirante en el canal**

$$h_a = \frac{A_L}{B}$$

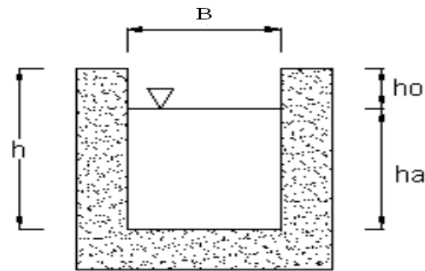
**Ecuación 12**

**Dónde:**

$h_a$  : Tirante del canal ( $m$ )

$A_L$  : Área libre al paso del agua ( $m^2$ )

**B:** Ancho del canal ( $m$ )



Fuente: Álvaro Mercado Guzmán, Santa Cruz, 2013.

**Figura 1. Vista frontal del canal**

La **Figura 1.** Muestra la disposición de  $h_a$ : tirante del canal,  $h_o$ : Altura de seguridad o borde libre. (Se recomienda un borde entre 0.20 y 0.25 metros)

Las características del emparrillado, la separación ( $e$ ) y el espesor de las barras ( $S$ ), van de acuerdo a las condiciones y el tipo de material de las barras a seleccionar.

- **Longitud de las barras.** Estas dependen del grado de inclinación y del tirante de agua máximo, se considera el ángulo de diseño más idóneo, de los recomendados para las rejillas manuales.

$$L_b = \frac{h_a}{\text{sen}(\alpha)}$$

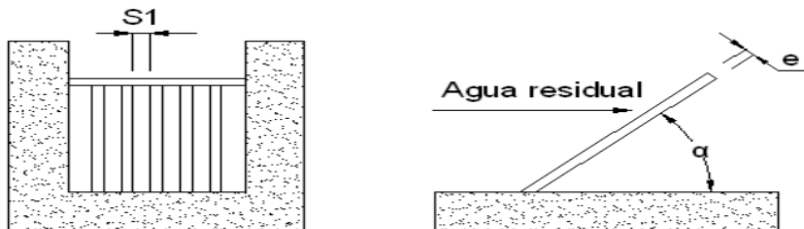
**Ecuación 13**

**Dónde:**

$L_b$ : Longitud de las barras( $m$ ).

$h_a$ : Tirante del canal( $m$ ).

$\alpha$ : Representa el ángulo de inclinación de las barras (grados).



Fuente: Álvaro Mercado Guzmán, Santa Cruz, 2013.

**Figura 2. Vista frontal del canal con las barras y corte longitudinal.**

- **Cálculo del número de barras.**

$$N_b = \frac{B}{e + S}$$

**Ecuación 14**

**Dónde:**

**$N_b$ :** Número de barras (*unidades*)

**$B$ :** Ancho del canal (*m*)

**$S$ :** Espesor de las barras (*m*)

**$e$ :** Separación entre las barras (*m*)

- **Pérdida de carga.** El cálculo para una rejilla limpia puede realizarse por la **Ecuación 15**.  
Propuesta por Kirschmer (1926).

$$h = \beta \left( \frac{S}{e} \right)^{4/3} \left( \frac{v^2}{2g} \right) \text{sen} \alpha$$

**Ecuación 15**

**Dónde:**

**$S$ :** Espesor de las barras(*m*).

**$e$ :** Separación entre las barras(*m*).

**$\left( \frac{v^2}{2g} \right)$ :** Carga de velocidad antes de la reja(*m*).

**$v$ :** Velocidad (*m/s*).

**$g$ :** Gravedad ( *m/s<sup>2</sup>*).

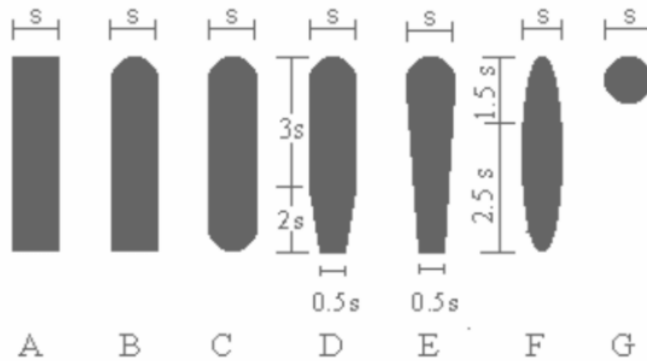
**$\alpha$ :** Ángulo de inclinación de las barras (grados).

$\beta$ : Factor dependiente de la forma de las barras.

**Tabla 3. Factores de forma  $\beta$  para secciones usuales de barras de rejillas – Coeficientes de pérdida para rejillas.**

Forma	A	B	C	D	E	F	G
$\beta$	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

Fuente: Norma Colombiana RAS., 2000., Título E., Pp 51.



Fuente: Norma Colombiana RAS., 2000., Título E., Pp 51.

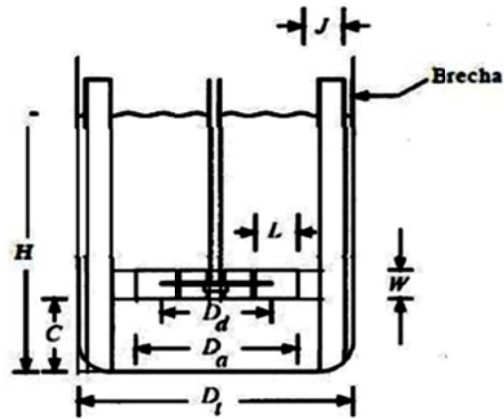
**Figura 3. Forma de rejillas.**

### 1.3.2 Tanque de almacenamiento y coagulación

Es un tanque donde se retiene el agua por un determinado tiempo, hasta que alcanza un volumen determinado e inicia el proceso de coagulación. Esto se utiliza generalmente cuando el efluente no es continuo y los caudales son bajos.

Para el proceso de coagulación, los agitadores de turbina son muy utilizados, con las variables óptimas, generan las mejores condiciones para que se forme el coagulo. (MARTINEZ, 1992)

A continuación se indican los criterios para el dimensionamiento del agitador de paletas para la coagulación:



Fuente: Martinez, A., Salvador, M., Galindo, E., (1992)

**Figura 4. Dimensiones características de un agitador de turbina (6 paletas)**

**Tabla 4. Criterios de diseño para un agitador (6 paletas)**

Criterios de Diseño	
$D_a/4$	0.3 – 0.5
$C/D_t$	1/3
$W/D_a$	1/5
$D_d/D_a$	2/3
$J/D_t$	1/12
$H/D_t$	1
$L/D_a$	1/4

Fuente: Martinez, A., Salvador, M., Galindo, E., (1992).

**Dónde:**

**Da:** Diámetro del agitador

**Dt:** Diámetro del tanque

**Dd:** Diámetro del sujetador de las paletas

**C:** Altura del rodete sobre el fondo del tanque

**L:** Longitud de las palas del rodete

**W:** Ancho de las paletas

**J:** Ancho de las placas deflectoras

**H:** Altura del líquido

Para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento y para el agitador de 6 paletas del coagulador, se emplean las siguientes fórmulas:

- **Radio del tanque cilíndrico vertical**

Es igual al radio del cilindro.

$$r = \frac{D}{2}$$

**Ecuación 16**

**Dónde:**

**r:** Radio del tanque (*m*)

**D:** Diámetro del tanque (*m*)

- **Altura del tanque cilíndrico vertical**

Se parte de la ecuación del volumen del cilindro:

$$V = \pi * r^2 * h$$

**Ecuación 17**

Despejando h, se tiene:

$$h = \frac{V}{\pi * r^2}$$

**Ecuación 18**

**Dónde:**

**$h$ :** Altura del tanque ( $m$ )

**$V$ :** Volumen del tanque ( $m^3$ )

**$r$ :** Radio del tanque ( $m$ )

**$\pi$ :** Pi, constante (adimensional)

- **Altura total del tanque**

$$h_T = h + h_s$$

**Ecuación 19**

**Dónde:**

**$h_T$ :** Altura total del tanque ( $m$ )

**$h$ :** Altura del tanque ( $m$ )

**$h_s$ :** Altura de seguridad ( $m$ ) (para la coagulación)

- **Potencia del motor para el agitador**

$$P = G^2 V \mu$$

**Ecuación 20**

**Dónde:**

**$P$ :** Potencia del motor (W)

**$G$ :** Gradiente de velocidad ( $s^{-1}$ )

**$V$ :** Volumen ( $m^3$ )

**$\mu$ :** Viscosidad dinámica del fluido ( $kg/ms$ )

- **Velocidad de rotación para el agitador**

$$N = \left( \frac{P}{k\delta Da^5} \right)^{1/3}$$

**Ecuación 21**

**Dónde:**

***N***: Velocidad de rotación (*rev/s*)

***P***: Potencia del motor (*kg m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>*)

***k***: Constante de agitación (adimensional)

***δ***: Densidad del líquido (*kg/m<sup>3</sup>*)

***Da***: Diámetro del agitador (*m*)

### 1.3.2.1 Dosificación de químicos para la coagulación y floculación

Para la dosificación de químicos en la etapa de coagulación y floculación, se emplean las siguientes ecuaciones:

- Dosis de PAC diluido**

$$D_{PAC} = \frac{V_{tanque} * D_{PAC Jarras}}{V_{P. Jarras}}$$

**Ecuación 22**

**Dónde:**

***V<sub>P. Jarras</sub>***: Volumen de referencia de la prueba de jarras (*L*)

***V<sub>tanque</sub>***: Volumen del tanque de almacenamiento y coagulación (*L*)

***D<sub>PAC Jarras</sub>*** : Dosis de PAC óptimo en la prueba de jarras 15 (*mL/L*)

***D<sub>PAC</sub>*** : Dosis de PAC para la coagulación (*mL*)

- Dosificación de Auxiliar de la coagulación**

$$D_{Auxiliar} = \frac{V_{tanque} * D_{Auxiliar Jarras}}{V_{P. Jarras}}$$

**Ecuación 23**

**Dónde:**



$V_{P. Jarras}$ : Volumen de referencia de la prueba de jarras (L)

$V_{tanque}$ : Volumen del tanque de almacenamiento y coagulación (L)

$D_{Auxiliar Jarras}$  : Dosis óptima de Auxiliar en la prueba de jarras 15 (mL/L)

$D_{Auxiliar}$  : Dosis de Auxiliar para la coagulación 15 (mL)

- **Dosis de cal**

$$D_{Cal} = \frac{V_{tanque} * D_{Cal Jarras}}{V_{P. Jarras}}$$

**Ecuación 24**

**Dónde:**

$V_{P. Jarras}$ : Volumen de referencia de la prueba de jarras (L)

$V_{tanque}$ : Volumen del tanque de almacenamiento y coagulación (L)

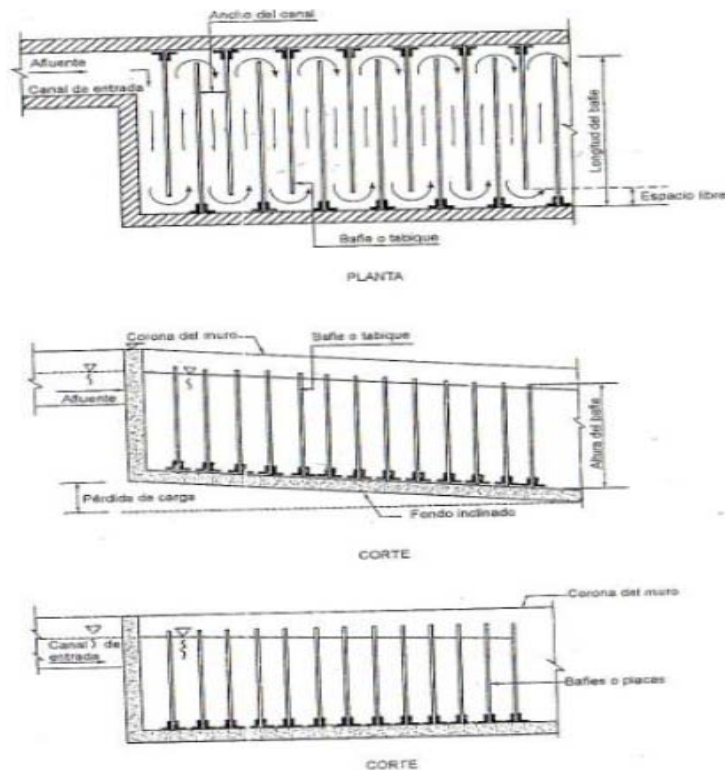
$D_{Cal Jarras}$  : Dosis de cal consumida en la prueba de jarras (mL)

$D_{Cal}$  : Dosis de cal para la coagulación (mL)

### **1.3.3 Floculador de Flujo Horizontal**

Puede estar configurado de diversas formas; puede constar de un solo tanque con tres o cuatro tramos con diferentes anchos de canales, o de otra forma de tres o cuatro tanques con anchos de canales diferentes en cada uno. El agua va horizontalmente entre los canales. Los canales pueden estar conformados por muros o tabiques de concreto, o por pantallas de asbesto cemento o madera ensamblada. Los muros de concreto impiden que se puedan efectuar modificaciones o ampliaciones posteriores, por lo que lo más usual es construirlas con pantallas removibles.

El fondo tiene un desnivel correspondiente a la pérdida de carga en cada sección, para que sea semejante la altura de agua, la velocidad y su gradiente. Las placas no se deben mover al paso del agua y deben mantener su paralelismo. (ROMERO, 2004)



Fuente: Romero, J. Purificación del agua, Colombia 2004

**Figura 5. Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal**

En la **Tabla 5**. Se indican los criterios de diseño para el floculador de flujo horizontal.

**Tabla 5. Criterios de diseño para el floculador de flujo horizontal**

Parámetro	Rango	Unidad
Caudal (Q)	< 50	L/s
Coeficiente de pérdida (K)	1.5 – 3.0 (recomendable 2)	Adimensional
El espacio ente el extremo de la pantalla y la pared	1.5 veces el espaciamiento entre pantallas	M
Tiempo de retención	10 – 30	min

Fuente: Romero, J. 2004

Para el dimensionamiento del floculador de flujo horizontal, se emplean las siguientes ecuaciones:

- **Volumen relativo del floculador**

$$V = Q * t$$

**Ecuación 25**

**Dónde:**

**V:** Volumen relativo del floculador ( $m^3$ )

**Q:** Caudal ( $m^3/s$ )

**t:** Tiempo de retención (s)

- **Ancho del Floculador**

$$B = \frac{V}{L * H}$$

**Ecuación 26**

**Dónde:**

**B:** Ancho del Floculador ( $m$ )

**V:** Volumen relativo del floculador ( $m^3$ )

**L:** Longitud del floculador ( $m$ )

**H:** Altura del floculador ( $m$ )

- **Volumen total del floculador**

$$V_T = B * L * H$$

**Ecuación 27**

**Dónde:**

**V<sub>T</sub>:** Volumen total del floculador ( $m^3$ )

**B:** Ancho del floculador ( $m$ )

**L:** Longitud del floculador ( $m$ )

**H:** Altura del floculador (*m*)

- **Ancho unitario**

$$W = \frac{B}{2}$$

**Ecuación 28**

**Dónde:**

**W:** Ancho unitario (*m*)

**B:** Ancho del Floculador (*m*)

- **Número de compartimientos (Según Richter)**

$$N = \left[ \left( \frac{2 * \mu * t}{\delta * (1.44 + f)} \right) \left( \frac{H * L * G}{Q} \right)^2 \right]^{1/3}$$

**Ecuación 29**

**Dónde:**

**N:** Número de compartimientos (*unidades*)

**H:** Altura del floculador (*m*)

**L:** Longitud del floculador (*m*)

**G:** Gradiente de velocidad ( $s^{-1}$ )

**Q:** Caudal ( $m^3/s$ )

**$\mu$ :** Viscosidad dinámica del fluido (*kg/ms*)

**$\delta$ :** Densidad del líquido ( $kg/m^3$ )

**t:** Tiempo de retención (*s*)

- **Separación entre pantallas**

$$e = \frac{L}{N}$$

**Ecuación 30**

**Dónde:**

***e***: Separación entre pantallas (*m*)

***L***: Longitud del floculador (*m*)

***N***: Número de compartimientos (*unidades*)

- Separación real entre pantallas

$$a_1 = e - em$$

**Ecuación 31**

**Dónde:**

***a<sub>1</sub>***: Separación real entre pantallas(*m*)

***e***: Separación entre pantallas (*m*)

***em***: Espesor de las pantallas(*m*)

- Separación entre la pantalla y la pared

$$d = 1.5 * a_1$$

**Ecuación 32**

**Dónde:**

***d***: Separación entre la pantalla y la pared (*m*)

***a<sub>1</sub>***: Separación real entre pantallas (*m*)

- Ancho de pantallas

$$c = W - d$$

**Ecuación 33**

**Dónde:**

**c:** Ancho de pantallas (*m*)

**W:** Ancho unitario (*m*)

**d:** Separación entre la pantalla y la pared (*m*)

- **Pérdida de carga en los canales**

$$h_1 = \frac{\mu * t * G^2}{\delta * g}$$

**Ecuación 34**

**Dónde:**

***h*<sub>1</sub>:** Pérdida de la carga en los canales (*m*)

***μ*:** Viscosidad dinámica del fluido (*kg/ms*)

***t*:** Tiempo de retención (*s*)

***G*:** Gradiente de velocidad (*s<sup>-1</sup>*)

***δ*:** Densidad del líquido (*kg/m<sup>3</sup>*)

***g*:** Gravedad (*m/s<sup>2</sup>*)

- **Área de los canales del floculador**

$$A = a_1 * H$$

**Ecuación 35**

**Dónde:**

***A*:** Área de los canales del floculador (*m<sup>2</sup>*)

***a*<sub>1</sub>:** Separación real entre pantallas(*m*)

***H*:** Altura del floculador (*m*)

- **Velocidad de flujo**

$$v = \frac{Q}{A}$$

**Ecuación 36**

**Dónde:**

***v***: Velocidad de flujo (*m/s*)

***Q***: Caudal (*m<sup>3</sup>/s*)

***A***: Área de los canales del floculador (*m<sup>2</sup>*)

• **Pendiente**

$$tg \alpha = \frac{h}{L}$$

**Ecuación 37**

Despejando *h*, se tiene:

$$h = tg \alpha * L$$

**Ecuación 38**

**Dónde:**

***h***: Profundidad de la pendiente (*m*)

***L***: Longitud del floculador (*m*)

***tg α***: Tangente del ángulo (se reemplaza por el valor de % de pendiente)

#### **1.3.4 Sedimentador de alta tasa**

El diseño del sedimentador de alta tasa (placas) posee tiempos de retención cortos de 15 min, además son unidades de alta eficiencia y de poca profundidad con relación a sedimentadores convencionales. El periodo de funcionamiento teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años. (ROMERO, 2004)

En la **Tabla 6**. Se indican los criterios de diseño para el sedimentador de alta tasa.

**Tabla 6. Criterios para el diseño de sedimentador de alta tasa**

Parámetro	Rango	Unidad
Parámetro para sedimentador de placas paralelas (característica crítica de funcionamiento) ( $Sc$ )	1	Adimensional
Separación entre cada placas ( $ds$ )	5 - 8	cm
Tiempo de retención	< 15	min
Ángulo de inclinación	60	grados
Carga superficial ( $Cs$ )	60 - 300	$m^3/m^2d$
Número de Reynolds	< 500	Adimensional

Fuente: Romero, J. 2004

Para el dimensionamiento del sedimentador de alta tasa, se utilizan las siguientes ecuaciones:

- **Área del sedimentador**

$$As = Ls * bs$$

**Ecuación 39**

**Dónde:**

**$As$ :** Área del sedimentador ( $m^2$ )

**$Ls$ :** Longitud del sedimentador ( $m$ )

**$bs$ :** Ancho del sedimentador ( $m$ )

- **Carga superficial del sedimentador**

$$Cs = \frac{Q}{As}$$

**Ecuación 40**



**Dónde:**

**Cs:** Carga superficial del sedimentador ( $m^3/m^2 \text{ día}$ )

**Q:** Caudal ( $m^3/\text{día}$ )

**As:** Área del sedimentador ( $m^2$ )

- **Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas**

$$v_o = \frac{Q}{As * \text{Sen}\theta}$$

**Ecuación 41**

**Dónde:**

**$v_o$ :** Velocidad promedio del flujo entre placas inclinadas ( $m/s$ )

**Q:** Caudal ( $m^3/s$ )

**As:** Área superficial ( $m^2$ )

**$\theta$ :** Angulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa (*grados*)

- **Longitud relativa del sedimentador de alta tasa**

$$Lr = \frac{L}{dp}$$

**Ecuación 42**

**Dónde:**

**Lr:** Longitud relativa del sedimentador de alta tasa ( $m$ )

**L:** Longitud recorrida a través del elemento (placas) ( $m$ )

**dp:** Ancho del conducto o espaciamiento entre placas ( $m$ )

- **Número de Reynolds**

$$Re = \frac{v_o * dp}{\nu}$$

**Ecuación 43**

**Dónde:**

**Re:** Número de Reynolds (adimensional)

**$v_o$ :** Velocidad promedio entre placas inclinada ( $m/s$ )

**$dp$ :** Ancho del conducto o espaciamiento entre placas ( $m$ )

**$\nu$ :** Viscosidad cinemática ( $m^2/s$ )

- **Longitud de transición**

$$L' = 0.013 * Re$$

**Ecuación 44**

**Dónde:**

**$L'$ :** Longitud de transición ( $m$ )

**Re:** Numero de Reynolds (adimensional)

- **Longitud relativa del sedimentador de alta tasa corregida en la longitud de transición**

$$L_{cr} = L_r - L'$$

**Ecuación 45**

**Dónde:**

**$L_{cr}$ :** Longitud relativa del sedimentador de alta tasa corregida en la longitud de transición ( $m$ )

**$L_r$ :** Longitud relativa del sedimentador de alta tasa ( $m$ )

**$L'$ :** Longitud de transición ( $m$ )

- **Velocidad de sedimentación critica**

$$v_{sc} = \frac{Sc * v_o}{Sen\theta + (L_{cr} * cos\theta)}$$

**Ecuación 46**

**Dónde:**

**$v_{sc}$ :** Velocidad de sedimentación critica ( $m/s$ )

$v_o$ : Velocidad promedio del fluido entre placas ( $m/s$ )

$\theta$ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa (*grados*)

$Lcr$ : Longitud relativa del sedimentador de alta tasa corregida en la longitud de transición ( $m$ )

$Sc$ : Parámetro característico para sedimentadores de placas paralelas.

- **Tiempo de retención en las placas**

$$Trp = \frac{L}{v_o}$$

**Ecuación 47**

**Dónde:**

$Trp$ : Tiempo de retención ( $s$ ), ( $min$ )

$L$ : Longitud recorrida a través del elemento (placas) ( $m$ )

$v_o$ : Velocidad promedio del fluido en el sedimentador ( $m/s$ ), ( $m/min$ )

- **Tiempo de retención en el tanque de sedimentación**

$$Trs = \frac{As * Hs}{Q}$$

**Ecuación 48**

**Dónde:**

$Trs$ : Tiempo de retención en el tanque y sedimentación ( $min$ ), ( $s$ )

$Q$ : Caudal ( $m^3/min$ ), ( $m^3/s$ )

$Hs$ : Altura total ( $m$ )

$As$ : Área del sedimentador ( $m$ )

- **Número de placas por módulo**

$$Np = \frac{(L * Sen\theta) + ds}{ds + ep}$$

**Ecuación 49**

**Dónde:**

***Np***: Número de placas por modulo (*unidades*)

***L***: Longitud recorrida a través del elemento (placas) (*m*)

***θ***: Ángulo de inclinación de las placas (*grados*)

***ds***: Separación entre placas (*m*)

***ep***: Espesor de las placas (*m*)

- **Volumen del sedimentador**

$$Vd = Ls * bs * Hs$$

**Ecuación 50**

**Dónde:**

***Vd***: Volumen del sedimentador (*m<sup>3</sup>*)

***Ls***: Longitud del sedimentador (*m*)

***bs***: Ancho del sedimentador (*m*)

***Hs***: Altura del sedimentador (*m*)

- **Altura de las placas**

$$Hp = L * Sen\theta$$

**Ecuación 51**

**Dónde:**

***Hp***: Altura de las placas (*m*)

***L***: Longitud recorrida a través del elemento (placas) (*m*)

***θ***: Ángulo de inclinación de las placas (*grados*)

### **1.3.5 Eras de secado**

Son sistemas sencillos y de bajo costo. Su función es la deshidratación de los lodos resultantes del proceso de tratamiento, su acción se da mediante la evaporación de agua por acción del sol. El residuo final, después de ser estabilizado, se puede utilizar para acondicionamiento de suelos o también pueden ser trasladados a un vertedero controlado. (ROMERO, 2004)

En la **Tabla 7**. Se muestran las ventajas y desventajas del uso de las eras de secado.

**Tabla 7. Ventajas y desventajas de las eras de secado**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
No requiere de una operación especializada.	Requiere espacios grandes.
Consumo bajo de energía.	Visible al público.
Poco sensible a cambios en las características del lodo.	Sensible a cambios de clima.
Contenido alto de sólidos en los lodos.	Requiere gran mano de obra para la remoción de residuos.

Fuente: Romero J., 2004.

En la **Tabla 8**. Se indican los criterios de diseño para las eras de secado.

**Tabla 8. Criterios de Diseño para las eras de secado**

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Unidad</b>
Profundidad total útil	40 – 60	cm
Ancho	3 – 6	m
Medio de drenaje	0.30 de espesor	m
Porcentaje de sólidos presentes en el lodo	8 – 12	%
*Diámetro de tuberías de drenaje	No menor de 100	mm
*Pendiente	No menor a 1	%
*Canales laterales de	Espaciamiento	m

alimentación	2.5 - 3	
*Medio de soporte	Capa de 15	cm
*Arena	0.3 -1.3	mm
*Grava ( espesor)	51 - 200	mm

Fuente: CEPIS/OPS., 2005

\*Fuente: Norma RAS., 2000

En la **Tabla 9**. Se muestra el tiempo requerido para la digestión de los lodos de las eras de secado, en función de la temperatura.

**Tabla 9. Tiempo requerido para la digestión de lodos**

Temperatura °C	Tiempo de digestión (días)
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: CEPIS/OPS., 2005

Para el dimensionamiento de las eras de secado, se realizan las siguientes ecuaciones:

- **Carga de sólidos**

$$C = Q * SS$$

**Ecuación 52**

**Dónde:**

**C:** Carga de sólidos ( $kg/día$ )

**Q:** Caudal ( $L/s$ )

**SS:** Sólidos suspendidos ( $mg/L$ )

- **Masa de sólidos que conforman los lodos**

$$Msd = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C)$$

**Ecuación 53**

**Dónde:**

**Msd:** Masa de sólidos que conforman los lodos ( $kg/día$ )

**C:** Carga de sólidos ( $kg/día$ )

- **Volumen diario de lodos digeridos**

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodos} \left( \frac{\%Sólidos}{100\%} \right)}$$

**Ecuación 54**

**Dónde:**

**Vld:** Volumen diario de lodos digeridos ( $L/día$ )

**Msd:** Masa de sólidos que conforman los lodos ( $kg/día$ )

**$\rho_{lodos}$ :** Densidad del lodo ( $kg/L$ )

**%Sólidos:** Porcentaje de sólidos (%)

- **Volumen de lodos a extraerse**

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000}$$

**Ecuación 55**

**Dónde:**

**Vel:** Volumen de lodos a extraerse ( $m^3$ )

**Vld:** Volumen diario de lodos digeridos ( $L/día$ )

**Td:** Tiempo requerido para la digestión de lodos ( $día$ )

- **Área de las eras de secado**

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

**Ecuación 56**

**Dónde:**

**Als:** Área del lecho de sacado ( $m^2$ )

**Vel:** Volumen de lodos a extraerse ( $m^3$ )

**Ha:** Profundidad de aplicación ( $m$ )

- **Área individual de las eras de secado**

$$Als_i = \frac{Als}{N^o Lechos}$$

**Ecuación 57**

**Dónde:**

**Als<sub>i</sub>:** Área individual de las eras de secado ( $m^2$ )

**Als:** Área del lecho de sacado ( $m^2$ )

**N<sup>o</sup> Lechos:** Número de lechos (*unidades*)

- **Longitud de las eras de secado**



$$L = \frac{Als_i}{b}$$

**Ecuación 58**

**Dónde:**

**L:** Longitud de las eras de secado (*m*)

**Als<sub>i</sub>:** Área individual de las eras de secado (*m*<sup>2</sup>)

**b:** Ancho de las eras de secado (*m*)

### 1.3.6 Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)

Su estructura está conformada por un tanque, relleno con un medio sólido para el soporte del crecimiento biológico anaerobio, las bacterias se quedan retenidas, el agua residual se pone en contacto con el medio sólido bacteriano. Es el más sencillo de mantener ya que la biomasa permanece como una película microbial adherida, el riesgo de taponamiento es mínimo debido a que el flujo es ascendente. Son eficaces para desnitrificar efluentes, incluso son usados como pretratamiento en plantas de purificación de agua. (CRITES, 2000)

En la **Tabla 10**. Se indican los criterios de diseño para el FAFA.

**Tabla 10. Criterios de diseño para el filtro anaeróbico de flujo ascendente**

Parámetro	Rango	Unidad
*Profundidad útil	No menor a 1.80	m
*Ancho	0.85 – 5.40	m
*Volumen útil mínimo	No menor a 1.25	m <sup>3</sup>
*Profundidad media soporte	No menor a 1.2	m
*Salida del efluente	No menor a 30 sobre el lecho	cm
Tiempo de retención	24 – 48	h
Carga orgánica	1 – 30	Kg DQO/m <sup>3</sup> d
Velocidad del flujo	< 10	m/días
Edad de lodos	0.5 – 5	días
Distancia entre orificios de entrada	1 – 2	m

\*Fuente: Norma Brasileira ABNT.

Fuente: Norma RAS., 2000.

Para el dimensionamiento del FAFA, se emplean las siguientes ecuaciones:

- **Volumen del filtro**

$$V_f = Q * Tr$$

**Ecuación 59**

**Dónde:**

$V_f$ : Volumen del filtro ( $m^3$ )

$Q$ : Caudal de diseño ( $m^3/día$ )

$Tr$ : Tiempo de retención hidráulica ( $día$ )

- **Área horizontal del filtro**

$$A_f = \frac{V_f}{H_u}$$

**Ecuación 60**

**Dónde:**

$A_f$ : Área horizontal del filtro ( $m^2$ )

$V_f$ : Volumen del filtro ( $m^3$ )

$H_u$ : Profundidad útil del filtro ( $m$ )

- **Longitud del filtro**

$$L = \frac{A_f}{b}$$

**Ecuación 61**

**Dónde:**

**$L$ :** Longitud del filtro ( $m$ )

**$A_f$ :** Área horizontal del filtro ( $m^2$ )

**$b$ :** Ancho del filtro ( $m$ )

- **Altura total de la cámara**

$$H_{Tf} = H_u + 0.30$$

**Ecuación 62**

**Dónde:**

**$H_{Tf}$ :** Altura total de la cámara ( $m$ )

**$H_u$ :** Profundidad útil del filtro ( $m$ )

### **1.3.7 Tanque de desinfección**

Es un tanque donde se pone en contacto el desinfectante y el agua en tratamiento. Su finalidad es la destrucción o inhibición de organismos patógenos. El desinfectante más utilizado y económico es el cloro. (ROMERO, 2004)

Para el dimensionamiento del tanque de desinfección, se utilizan las siguientes ecuaciones:

- **Volumen del tanque**

$$V = Q * Tr$$

**Ecuación 63**

**Dónde:**

**V:** Volumen del tanque ( $m^3$ )

**Q:** Caudal ( $m^3/s$ )

**Tr:** Tiempo de retención (s)

- **Altura del tanque**

$$A_t = \frac{V}{L * b}$$

**Ecuación 64**

**Dónde:**

**A<sub>t</sub>:** Altura del tanque ( $m$ )

**V:** Volumen del tanque ( $m^3$ )

**L:** Longitud del tanque ( $m$ )

**b:** Ancho del tanque ( $m$ )

- **Altura total del tanque**

$$A_T = A_t + A_s$$

**Ecuación 65**

**Dónde:**

**A<sub>T</sub>:** Altura total del tanque ( $m$ )

**A<sub>t</sub>:** Altura del tanque ( $m$ )

**A<sub>s</sub>:** Altura de seguridad del tanque ( $m$ )

#### **1.3.7.1 Dosificación del desinfectante**

Para la dosificación del desinfectante hipoclorito de calcio, denominado HTH, se emplean las siguientes ecuaciones:

- **Dosis-masa de Hipoclorito de calcio (HTH) para la preparación de la solución madre**

$$Dm_{HTH} = 0.012 * Q * C$$

**Ecuación 66**

**Dónde:**

**$Dm_{HTH}$ :** Dosis – masa de hipoclorito de calcio (*lb/día*)

**0.012:** Constante adimensional

**$Q$ :** Caudal (*gal/min*)

**$C$ :** Concentración de hipoclorito de calcio HTH (*mg/L*)

- **Volumen de agua teórico para diluir el hipoclorito de calcio (HTH), para la preparación de la solución madre**

$$V_{distn} = \frac{m_{HTH}}{\rho_{HTH}}$$

**Ecuación 67**

**Dónde:**

**$V_{distn}$ :** Volumen de agua para diluir hipoclorito de calcio (HTH) (*L*)

**$m_{HTH}$ :** Masa del hipoclorito de calcio (*g*)

**$\rho_{HTH}$ :** Densidad del hipoclorito de calcio (*g/L*)

- **Volumen de la solución madre**

$$V_1 = \frac{V_{distn} * 65 \%}{8.5 \%}$$

**Ecuación 68**

**Dónde:**

$V_{distn}$ : Volumen de agua para diluir hipoclorito de calcio (L)

$V_1$ : Volumen de la solución madre (L)

- **Volumen de agua requerida para diluir la solución madre**

$$V_2 = \frac{C_1 V_1}{C_2}$$

**Ecuación 69**

**Dónde:**

$C_1$ : Concentración de la dosificación de hipoclorito de calcio (HTH) (mg/L)

$C_2$ : Concentración de hipoclorito de calcio (HTH) (mg/L)

$V_1$ : Volumen de la solución madre (L)

$V_2$ : Volumen de agua requerida para diluir la solución madre (L)

- **Volumen total de la solución**

$$V_T = V_1 + V_2$$

**Ecuación 70**

**Dónde:**

$V_1$ : Volumen de la solución madre (L)

$V_2$ : Volumen de agua requerida (L)

### 1.3.8 Rendimiento del proceso de depuración

Permite por medio de cálculos, establecer de una forma teórica la eficiencia de la PTAR, por lo tanto la concentración final de parámetros de interés después del tratamiento. A demás proporciona valores base para compararlos con los reales, y dependiendo de su variación saber que unidad de tratamiento que requiera mantenimiento. (ROMERO, 2004)

El rendimiento se expresa en porcentaje. Para llegar a su cálculo es necesaria la determinación de la remoción y de la concentración en el afluente para cada etapa de tratamiento y se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\begin{matrix} S_o \rightarrow & 100\% \\ x = R_e \rightarrow & \text{Remoción teórica } \% \end{matrix}$$

Ecuación 71

$$R_e = \frac{S_o * \text{Remoción teórica } \%}{100\%}$$

Ecuación 72

**Dónde:**

$R_e$ : Remoción en cada etapa de tratamiento ( $mg/L$ )

$S_o$ : Concentración en el afluente (inicial de cada etapa de tratamiento) ( $mg/L$ )

$$S_e = S_o - R_e$$

Ecuación 73

**Dónde:**

$S_e$ : Concentración en el efluente para cada etapa de tratamiento ( $mg/L$ )

$S_o$ : Concentración en el afluente (inicial de cada etapa de tratamiento) ( $mg/L$ )

$R_e$ : Remoción en cada etapa de tratamiento ( $mg/L$ )

$$ET = \frac{S_o - S_e}{S_o} * 100$$

**Ecuación 74**

**Dónde:**

**ET:** Rendimiento general de la planta (%)

**S<sub>e</sub>:** Concentración en el efluente (final, después de todas las etapas de tratamiento) (mg/L)

**S<sub>o</sub>:** Concentración en el afluente (inicial) (mg/L)

#### **1.4 Estudio de Impacto Ambiental**

Mediante los estudios de Impacto ambiental, se asegura una apropiada predicción, identificación e interpretación de las alteraciones positivas o negativas hacia factores ambientales que un proyecto ejecutado puede generar, para conseguir una optimización en el uso de recursos, con el fin de obtener beneficios al máximo y pretende que los daños al medio ambiente sean mínimos.

##### **1.4.1 Línea Base**

Es el diagnóstico inicial del lugar donde se va a realizar el proyecto, proporciona la información necesaria para medir los cambios producidos en el ambiente, mediante el conocimiento e identificación del medio abiótico, biótico y socioeconómico; que se encuentran en el área de influencia. (CONESA, 2010)

##### **1.4.2 Valoración e Identificación de Impactos Ambientales – Mediante la Matriz de Leopold.**

El modelo de Leopold, consiste en una matriz interactiva causa- efecto, permite la identificación y valoración del impacto ambiental a través de resultados cuali-cuantitativos. La matriz está conformada por columnas que indican las acciones humanas que pueden alterar el sistema, y por filas en donde se mencionan los parámetros ambientales que pueden ser afectados debido a la ejecución del proyecto. (CONESA, 2010)



La matriz presenta una lista de 100 acciones y 88 parámetros ambientales, siendo posible su modificación o simplificación de acuerdo al proyecto que se quiera realizar.

Primero es necesario identificar las acciones más significativas. Las acciones del hombre se ubican en columnas y las características del medio a ser alteradas se ubican en filas. Dentro de cada celda se indican dos valores separados por una diagonal: uno indica la magnitud de alteración del factor ambiental correspondiente a cada acción así como el grado de impacto, y el otro indica la importancia que se le da al mismo. Los valores de magnitud e importancia se encuentran en una escala del 1 al 10, siendo el 1 de menor y el 10 de mayor magnitud e importancia. A este valor asignado se le añade un signo positivo o negativo que indica si el impacto provocado es benéfico o adverso. (CONESA, 2010)

## **1.5 Marco Legal**

El desarrollo del presente proyecto de investigación, se basó en el siguiente marco legal.

- a.** Constitución de la República Del Ecuador, Título II, Derechos, Artículos. 14, 15, 71, 72. Título VII, Régimen Del Buen Vivir, Artículos. 396 y 411
- b.** Ley de Gestión Ambiental, Artículo 33
- c.** Ley de Aguas, Título II .Capítulo I, De La Conservación, Artículo. 21. Título II, Capítulo II, De La Contaminación, Artículo. 22.
- d.** Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente (TULSMA). Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo I. Establece los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones.

El detalle y contenido del marco legal se encuentra en el **Anexo 3**.

## CAPÍTULO II

### 2. PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1 Reconocimiento del área de investigación

##### 2.1.1 Ubicación de las instalaciones

El presente proyecto de investigación se realizó en el laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EP. EMAPA-G), ubicada en Chaquishca de la parroquia urbana Guanujo, cantón Guaranda, provincia Bolívar.

#### 2.2 Metodología

##### 2.2.1 Recopilación de la información

A continuación se detallan los materiales y equipos utilizados para la recopilación de la información.

**Tabla 11. Materiales y equipos para la recopilación de información**

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Libreta de campo	Grabadora
Esferográfico con tinta indeleble	Cámara fotográfica

Elaborado por: Mabel Zapata.

Para la recopilación de la información se realizaron los siguientes pasos:

- Se realizó el levantamiento de la línea base.
- Se elaboró un formato con un cronograma de visitas y actividades para la recopilación de información. Dicho cronograma fue acordado con el técnico encargado del Laboratorio de Control de Calidad. **Anexo 4**
- Se realizó visitas al área de estudio y lugares aledaños.
- Se procedió a la revisión detallada de estudios hechos en la zona y en lugares cercanos.
- Se procesó la información recopilada.

La información fue proporcionada por la EP. EMAPA-G, el Instituto Geográfico Militar (IGM), La Universidad Estatal de Bolívar (UEB), el Gobierno Autónomo Descentralizado de Guaranda (GAD) y datos obtenidos en el campo.

### 2.2.2 Levantamiento Topográfico

La EP. EMAPA-G, proporcionó la topografía de la zona de estudio, esta información se empleó para la realización de planos.

A continuación se detallan los materiales y equipos utilizados para la georreferenciación.

**Tabla 12. Materiales y equipos para la georreferenciación**

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Libreta de campo	GPS - GARMIN GPSMAP 60CSx
Esferográfico con tinta indeleble	Cámara fotográfica
Estacas	
Cinta métrica	

Elaborado por: Mabel Zapata.

Para la georreferenciación se realizaron los siguientes pasos:

- Se colocaron cuatro estacas, formando un rectángulo en el área disponible para la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Se ubicó el equipo en el área disponible para la planta de tratamiento de aguas residuales
- Se encendió el GPS, se demoró 2 minutos y automáticamente se alineó con los satélites.
- Se ingresó al menú y se seleccionó Mark, se pusieron los números de referencia 1, 2, 3 y 4 y se guarda.
- Se georreferenció el punto de partida y seguidamente se caminó con el equipo fijo alrededor del área señalada por las estacas, hasta llegar al punto de partida.
- Se guardó la información.
- Seguidamente se descargó los datos y se los procesó mediante el software SPECTUM LINK en una computadora.
- Se los guardó en un archivo de texto (.txt) para su posterior importación a excel y ArcGis.

Se realizó el mismo procedimiento para georreferenciar el punto de muestreo y el laboratorio de control de calidad.

### 2.2.3 Medición del caudal

A continuación se detallan los materiales y equipos utilizados para la medición del caudal.

**Tabla 13. Materiales y equipos para la medición del caudal**

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Libreta de campo	Cronómetro
Esferográfico con tinta indeleble	Cámara fotográfica

Elaborado por: Mabel Zapata.

El caudal del laboratorio de Control de Calidad la EP. EMAPA-G, es de flujo pequeño, se empleó el método volumétrico, y se realizaron los siguientes pasos:

- Se realizó una medición directa del agua residual en la caja de revisión inmediata al laboratorio, el agua fue llenando un recipiente graduado, en un tiempo cronometrado de 1 minuto.
- El monitoreo fue de tiempos cortos, cada 10 minutos, en la jornada de trabajo desde las 8:00 hasta las 18:00 horas.
- Se monitoreó durante una semana laboral; lunes, martes, miércoles, jueves y viernes.
- Se procedió al tratamiento de los datos.
- Se calculó de cada día, la sumatoria y el promedio de caudal correspondiente.
- Se consideró el caudal promedio más alto, el mismo que se le sumó el 30 % considerando un crecimiento del caudal, por aumento de análisis de laboratorio en el tiempo, aumento de personal, elaboración de prácticas, entre otros factores que puedan incidir en el crecimiento del caudal.

### 2.2.4 Muestreo y caracterización física, química y microbiológica del agua residual

A continuación se detallan los materiales y equipos utilizados para el muestreo y para la caracterización del agua residual.

**Tabla 14. Materiales, equipos y reactivos para la caracterización del agua residual**

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Envase plástico estéril de dos litros	Balanza analítica	Reactivos HACH para el espectrofotómetro
Libreta de campo	Baño maría	Reactivos HACH para el fotómetro
Esferográfico con tinta indeleble	Colorímetro	Indicadores PAN (0.3% y 0.1%)
Mandil	Conductímetro	Indicador Cianuro alcalino
Mascarilla	Turbidímetro	Solución de tiocianato de mercurio
Guantes	pH - metro	Solución férrica
Buretas	Espectrofotómetro	Solución EDTA
Film protector	Fotómetro	Solución Buffer
Pera de succión	Estufa	Spands
Pinzas	Incubadora	Soluciones amortiguadoras de pH 4 y pH 7
Gradilla	Reverbero	Colorante negro de eriocromo T (indicador)
Erlenmeyer	Bomba de succión	Agua destilada
Pipetas	Esterilizador	M-Coli Blue 24* BROTH
Probetas	Reverbero	Alcohol antiséptico 70°
Tubos de ensayo		Metanol
Vasos de precipitación		
Piseta		
Pat adsorbente		
Limpiadores		
Lente de aumento		

Tubo de grasa lubricante		
Pipetas plásticas Pasteur		

Elaborado por: Mabel Zapata

Para el muestreo, se empleó el método del muestreo compuesto y se realizaron los siguientes pasos:

- Las muestras individuales fueron tomadas en la caja de revisión inmediata al laboratorio, en las horas pico de 9:00 a 12:00, en lapsos de una hora, por un periodo de 3 días.
- Seguidamente con las muestras en el laboratorio, se realizó el cálculo del volumen de las 4 muestras individuales para conformar la muestra compuesta con las alícuotas adecuadas.
- Se obtuvieron 4 muestras compuestas del efluente directo del laboratorio de control de calidad, 3 para su caracterización directa en el laboratorio y 1 para la realización de la prueba de jarras.

La caracterización física, química y microbiológica, se basó en las técnicas y procedimientos del manual de Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residual y en el manual de métodos HACH.

La caracterización fue realizada en el Laboratorio de control de calidad de la EP. EMAPA-G y en el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica (CESTTA). Los parámetros que se midieron in situ fueron el pH y la Temperatura.

En la **Tabla 15**. Se indica cada parámetro caracterizado con su correspondiente método.

**Tabla 15. Parámetros y métodos de caracterización del agua residual**

Parámetro	Unidad	Método
<b>Parámetros físicos</b>		
Color	UTC	Colorimétrico. REF1001/S502.
Turbiedad	NTU	Nefelométrico. REF1001/S505.
pH	-----	Electrométrico. REF1001/S503.
Conductividad	μS/cm	Conductimétrico. REF1001/S501.
Sólidos totales disueltos	mg/L	Conductimétrico. REF1001/S504.
Temperatura	°C	Conductimétrico/ Potenciométrico. REF1001/S501.

Parámetros Químicos		
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Espectrofotométrico (Reducción cadmio). REF1001/S514.
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Espectrofotométrico (Diazotación). REF1001/S515.
Fosfatos (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	Espectrofotométrico (Ácido ascórbico). REF1001/S511.
Nitrógeno amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	Espectrofotométrico (Nesslerización). REF1001/S516.
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	Espectrofotométrico (Sulfaver 4). REF1001/S517.
Fluoruros (F)	mg/L	Espectrofotométrico (Spands). REF1001/S510.
Hierro total (Fe)	mg/L	Espectrofotométrico (Ferrover). REF1001/S512.
Manganeso (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	Espectrofotométrico (PAN). REF1001/S513.
Cromo Hexavalente (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	Espectrofotométrico (1,5 Dinitilcarbohidacida). REF1001/S508.
Cobre (Cu)	mg/L	Espectrofotométrico (Bicinchoninato). REF1001/S507.
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	Espectrofotométrico (Aluminón). REF1001/S518.
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	Espectrofotométrico (Tiocianato mercúrico). REF1001/S522.
Níquel (Ni)	mg/L	Espectrofotométrico (1-2 piridilazo – 2 naftol (PAN)). REF1001/S526.
Cobalto (Co)	mg/L	Espectrofotométrico (1-2 piridilazo – 2 naftol (PAN)). REF1001/S523.
Plomo (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	Fotométrico (4- piridil-2-azo-resorcina). REF1001/S529.
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	Fotométrico (Zinc). REF1001/S531.
Plata (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	Fotométrico. REF1001/S528.



Cianuro (CN <sup>-</sup> )	mg/L	Fotométrico. REF1001/S521
Bario (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	Espectrofotométrico. REF1001/S519.
Bromo (Br)	mg/L	Espectrofotométrico (DPD). REF1001/S520.
Molibdeno (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	Espectrofotométrico (Ácido mercaptoacético). REF1001/S525.
Cromo total (Cr)	mg/L	Espectrofotométrico (Oxidación alcalina). REF1001/S524.
Oxígeno disuelto (O <sub>2</sub> )	mg/L	PEE/LABCESTTA/45 Standard Methods No. 4500 D
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	PEE/LABCESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (5 días)	mg/L	PEE/LABCESTTA/46 Standard Methods No. 5210 D
<b>Parámetros Microbiológicos</b>		
Coliformes fecales	NMP/100mL	Filtración de membrana al vacío. REF1001/S602. Standard Methods No.36013
Coliformes totales	NMP/100mL	Filtración de membrana al vacío. REF1001/S601. Standard Methods No.36002

**Fuente:** Laboratorio de Control de Calidad EP. EMAPA-G., LAB CESTTA.

### 2.2.5 Prueba de coagulación, floculación y sedimentación

A continuación se indican los materiales, equipos y reactivos empleados para la realización de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación.

**Tabla 16. Materiales, equipos y reactivos para la prueba de coagulación y floculación**

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Mandil	Test de jarras	Poli cloruro de aluminio (PAC-P25A)
Mascarilla	Balanza analítica	Auxiliar de la coagulación (Chemfloc C-25)
Guantes	Cronómetro	Cal T-30

Jeringuillas		
Vasos de precipitación		
Balones de aforación		
Espátula		
Piseta		

Elaborado por: Mabel Zapata

Para todas las pruebas se utilizó un vaso de precipitación adicional con el agua residual como control, se determinó la turbiedad antes y después de cada etapa y además se realizó una caracterización general al inicio y al final de toda la prueba, para conocer su rendimiento de remoción.

Para la realización de la prueba se utilizó: PAC-P25A, Auxiliar de la coagulación, también llamado floculante o Chemfloc C-25 y Cal T-30 (Especial)

Se realizaron los siguientes pasos:

**Para la dosis óptima:**

- Se llenó 6 vasos de precipitación con el agua residual.
- Se preparó las disoluciones de PAC con una concentración de 0.4 g/L y de auxiliar de la coagulación (Chemfloc C-25) a una concentración de 0.2 g/L, por recomendación técnica.
- Se midió las cantidades de PAC y del auxiliar de la coagulación (Chemfloc C-25), para dosis de 5, 10, 15, 20, 30, 40 mL/L.
- Se encendió el equipo y se activaron los agitadores de paletas a 100 rpm (mezcla rápida).
- Se inyectó el PAC y el Auxiliar de la coagulación (Chemfloc C-25) con jeringas hipodérmicas.
- Se disminuyó la velocidad a 40 rpm y se mantuvo por 20 minutos (mezcla lenta).
- Luego se suspendió la agitación, se retiraron las jarras y se dejaron reposar por 10 minutos.
- Posteriormente se tomó las muestras para el análisis de turbiedad, para cada dosis.
- Se graficó los resultados (turbiedad residual vs. dosis) y se seleccionó como dosis óptima la que produjo menor turbiedad residual.

**Para el pH óptimo:**

- a) Se ajustó el pH del agua residual para los valores de 4, 5, 6, 7, 8, y 9. Se utilizó cal diluida a una concentración de 0.2 g/L para estabilizar la mezcla y modificar el pH.
- b) Se efectuó la prueba de jarras en forma convencional, se añadió el PAC y el Auxiliar de la coagulación (Chemfloc) con la dosis óptima.
- c) Luego se realizó la mezcla rápida, floculación y decantación.
- d) Se determinó la turbiedad residual para cada pH.
- e) Se graficó los resultados (turbiedad residual vs. pH), se seleccionó el pH óptimo con el que se obtuvo la mayor remoción de turbiedad residual.

**Para la concentración óptima:**

- a) Con la dosis óptima y el pH óptimo se realizó la prueba de jarras en forma convencional.
- b) La dosificación se realizó a diferentes concentraciones del coagulante PAC al: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, y 0.6 g/L.
- c) Se determinó la turbiedad residual para cada concentración.
- d) Se graficó los resultados (turbiedad residual vs. concentración), se determinó como la concentración óptima la produjo menor turbiedad residual.

**Para la floculación:**

- a) Con las variables previamente determinadas, se efectuó la mezcla rápida.
- b) Después de finalizada la mezcla rápida se inició la floculación, para lo que se modificó la velocidad de agitación, las rpm, de acuerdo a las gradientes de velocidad de: 20, 40, 60, y 80 s<sup>-1</sup>.
- c) Se floculó el agua por 2 minutos, se retiró el primer vaso y se dejó sedimentar por 10 minutos.
- d) Los siguientes vasos 2, 3, 4, 5 y 6 se retiraron a los tiempos de 5, 10, 15, 20, 25 minutos respectivamente.
- e) Se determinó la turbiedad residual para cada muestra.
- f) Se repitió el ensayo incrementando la velocidad de agitación, las rpm, de acuerdo a los gradientes de velocidad que se seleccionó con anterioridad.

- g) Se graficó los valores de turbiedad residual vs. los tiempos de floculación para los valores de gradiente de velocidad, de esta curva se seleccionó el tiempo de floculación total, con el que se produjo la menor turbiedad residual.
- h) Se graficó los valores de turbiedad residual vs. las gradientes de velocidad para los diferentes tiempos de floculación, con esta curvase comprobó la mejor gradiente de velocidad para la coagulación.
- i) Posteriormente se graficó el ajuste de los valores (gradientes de velocidad vs tiempos de floculación) por medio de la teoría de los mínimos cuadrados.

#### **Para la decantación o sedimentación:**

- a) Se efectuó la prueba de jarras de una forma convencional, se trabajó con tres vasos, a mezcla rápida por 1 minuto a 100 rpm, floculación por 20 minutos y 40 rpm.
- b) Después de la floculación se detuvo el equipo y se tomó las muestras a 6cm de profundidad, a los tiempos de: 30 segundos, 1, 2, 3, 4, 5, y 10 minutos.
- c) Se determinó la turbiedad residual a cada una de las muestras y se calculó su promedio.
- d) Se calculó la velocidad de sedimentación, los datos se obtuvieron midiendo la altura del agua y el tiempo de sedimentación.
- e) Se calculó la fracción de turbiedad residual, dividiendo la turbiedad promedio final por la turbiedad inicial.
- f) Se graficó la fracción de turbiedad residual vs. la velocidad de sedimentación.

#### **2.2.6 Propuesta de diseño**

Para la realización del diseño se consideraron los siguientes aspectos:

- a) Disponibilidad de espacio físico en el área de estudio.
- b) Topografía del lugar para la ubicación de la planta.
- c) Las condiciones ambientales variables o sujetas al área de estudio.
- d) El caudal para el diseño.
- e) La proyección de las necesidades en el tiempo.
- f) Las características del agua residual (Física, química y microbiológica).
- g) Los resultados de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación.

Después del análisis de los aspectos mencionados, se seleccionaron las etapas de tratamiento más adecuadas para el tipo de agua residual que genera el laboratorio.

Seguidamente se realizó el dimensionamiento de la PTAR. Para toda la planta se consideró una tubería de 3 pulgadas, con una válvula de compuerta antes y después de cada componente, para facilitar el almacenamiento y tratamiento del agua residual.

Se realizó una relación en función de: el número de vueltas abierta de la válvula de compuerta y de cada caudal que pasa por la tubería.

Para el diseño y el correspondiente dimensionamiento, se consideró criterios de diseño, fórmulas y ecuaciones de: la norma brasileña ABNT, la norma colombiana RAS 2000, Romero J. 2004, norma peruana OPS/CEPIS 2003, y Rodríguez Araya.

### 2.2.7 Elaboración de mapas y planos

Los planos de la PTAR se elaboraron mediante la herramienta informática de AutoCad.

### 2.2.8 Valoración e identificación de impactos ambientales

Para la valoración e identificación de los impactos ambientales que genera la implementación de la PTAR, se empleó la matriz de Leopold y se realizaron los siguientes pasos:

- a. Se identificó y se seleccionó: los factores ambientales, que pueden verse afectados por la implementación de la planta y las acciones que involucran su implementación, de la propuesta de Leopold compuesta por 100 acciones y 88 características ambientales. En la matriz, las acciones se ubican en el eje de las “x” y los factores ambientales en el eje de las “y”.
- b. Se identificó el efecto que tienen las acciones sobre los factores ambientales, con un signo (-) indicando que la afectación es negativa y con un signo (+) que es positiva.
- c. Se valoró la magnitud e importancia, de la relación causa-efecto, de acciones sobre los factores ambientales, de acuerdo a los valores de la **Tabla 17**. En la matriz, cada celda de interacción se encuentra dividida con una diagonal, en la parte superior, se ubica la magnitud y en la parte inferior se ubica la importancia.

**Tabla 17. Valoración Magnitud e Importancia para la Matriz Causa – Efecto de Leopold.**

MAGNITUD			IMPORTANCIA		
Calificación	Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia
1	Baja	Baja	1	Temporal	Puntual
2	Baja	Media	2	Media	Puntual
3	Baja	Alta	3	Permanente	Puntual
4	Media	Baja	4	Temporal	Local
5	Media	Media	5	Media	Local

6	Media	Alta	6	Permanente	Local
7	Alta	Baja	7	Temporal	Regional
8	Alta	Media	8	Media	Regional
9	Alta	Alta	9	Permanente	Regional
10	Muy Alta	Alta	10	Permanente	Nacional

Fuente: Conesa V, 2010.

- d. Se indicó el número de afectaciones positivas y negativas, presentes en la matriz.
- e. Se realizó el cálculo de la agregación de impactos, que resulta de la sumatoria de la multiplicación del valor de magnitud con importancia
- f. Una vez establecida la matriz, se multiplicó el valor de la magnitud con el valor de importancia, de cada interacción, luego se realizó la sumatoria total y obtuvo el valor de la agregación de impactos, el mismo que se evaluó mediante la siguiente tabla:

**Tabla 18. Evaluación de impactos según la Metodología de Leopold.**

RANGO	IMPACTO	
-70.1 a -100	Negativo	Muy Alto
-50.1 a -70	Negativo	Alto
-25.1 a -50	Negativo	Medio
-1 a -25	Negativo	Bajo
1 a 25	Positivo	Bajo
25.1 a 50	Positivo	Medio
50.1 a 80	Positivo	Alto
80.1 a 100 o >	Positivo	Muy Alto

Fuente: Conesa V, 2010.

- g. Seguidamente se calculó el nivel de significancia de proyecto, mediante la siguiente ecuación:

$$Ca = \sqrt{\frac{\text{Agregación de impactos}}{\text{Número de interacciones}}}$$

**Ecuación 75**

Donde Ca, es la calificación ambiental y se determinó su grado de significancia, mediante la siguiente tabla:

**Tabla 19. Rangos para la Calificación Ambiental**

<b>RANGO</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
0 a 2.5	Bajo
2.6 a 5.5	Moderado
5.6 a 7.5	Severo
7.6 a 10	Crítico

**Fuente:** Conesa V, 2010.

- h.** Se concluyó el grado de significancia y los impactos ambientales, que ocasionará la implementación del proyecto.

## CAPÍTULO III

### 3. DIMENSIONAMIENTO

#### 3.1 Rejillas de limpieza manual

El caudal considerado para el dimensionamiento de las rejillas fue del caudal promedio de mayor valor, sumado el 30% por el crecimiento del caudal del laboratorio en el tiempo.

Caudal promedio del día lunes:  $0.80 \text{ L/min}$

$$\begin{aligned}Q_{diseño} &= Q + 30\% \\Q_{diseño} &= 0.80 \frac{L}{min} + \left(0.3 * 0.80 \frac{L}{min}\right) \\Q_{diseño} &= 1.04 \frac{L}{min} * \frac{1 min}{60 s} \\Q_{diseño} &= 0.017 \frac{L}{s}\end{aligned}$$

Para las rejillas de limpieza manual, se utilizó los criterios de diseño de: la **Tabla 2** y la **Tabla 3**.

- **Cálculo del área libre al paso del agua ( $A_L$ )**

**Datos:**

Caudal,  $Q$ :  $0.017 \text{ (L/s)}$

Velocidad,  $v$ :  $0.5 \text{ (m/s)}$

Se requiere el caudal en  $(m^3/s)$ , se realiza la siguiente conversión:

$$\begin{aligned}Q &= 0.017 \frac{L}{s} * \frac{m^3}{1000L} \\Q &= 1.73 \times 10^{-5} m^3/s\end{aligned}$$



El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 11**.

$$A_L = \frac{Q}{v}$$
$$A_L = \frac{1.73 \times 10^{-5} (m^3/s)}{0.5 (m/s)}$$
$$A_L = 3.46 \times 10^{-5} m^2$$

- **Cálculo de la altura del tirante en el canal**

En este caso se cuenta con la estructura ya hecha, por lo tanto se midió el ancho, representado por ( $B$ )

**Datos:**

Área libre al paso del agua,  $A_L$  :  $3.46 \times 10^{-5} (m^2)$

Ancho del canal,  $B$ :  $0.40(m)$

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 12**.

$$h_a = \frac{A_L}{B}$$
$$h_a = \frac{3.46 \times 10^{-5} m^2}{0.40 m}$$
$$h_a = 8.65 \times 10^{-5} m + 0.20 m$$
$$h_a = 0.20 m$$

A la altura del tirante se le suma 0.20m, que corresponde a la altura de la caja de revisión, a esta se le suma 0.10m de seguridad, obteniendo como altura total 0.30m.

- **Cálculo de la longitud de las barras.** Estas dependen del grado de inclinación y del tirante de agua máximo, se considera el ángulo de  $40^\circ$ , para las rejillas manuales, según la Norma RAS 2000.

**Datos:**

Tirante del canal,  $h_a$ :  $0.20 (m)$ .

$\alpha$ :  $40^\circ$ .

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 13**.

$$L_b = \frac{h_a}{\text{sen}(\alpha)}$$

$$L_b = \frac{0.20m}{\text{sen}(40)}$$

$$L_b = 0.31m$$

- **Cálculo del número de barras.**

**Datos:**

Ancho del canal, **B**: 0.40(m)

Espesor de las barras, **S**:  $1.27 \times 10^{-2}(m)$

Separación entre las barras, **e**: 0.02 (m)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 14**.

$$N_b = \frac{B}{e + S}$$

$$N_b = \frac{0.40 \text{ m}}{(0.02 + 1.27 \times 10^{-2})m}$$

$$N_b = 12.23 \approx 12 \text{ barras}$$

- **Cálculo de la pérdida de carga.**

Según los criterios de diseño, se tiene:

**Datos:**

Espesor de las barras, **S**: 0.0127(m).

Separación entre las barras, **e**: 0.02(m).

Velocidad, **v**: 0.5 (m/s).

Gravedad, **g**: 9.8 ( m/s<sup>2</sup>).

Carga de velocidad antes de la reja,  $\left(\frac{v^2}{2g}\right)$ : 0.01275 (m).

Ángulo de inclinación de las barras, **α**: 40 (grados).

Factor dependiente de la forma de las barras, **β**: 1.79.

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 15**.

$$h = \beta \left( \frac{S}{e} \right)^{4/3} \left( \frac{v^2}{2g} \right) \operatorname{sen} \alpha$$

$$h = 1.79 \left( \frac{0.0127 \text{ m}}{0.02 \text{ m}} \right)^{4/3} \left( \frac{0.5^2 \text{ m}^2}{2(9.8) \text{ m/s}^2} \right) \operatorname{sen} 40$$

$$h = 8.01 \times 10^{-3} \text{ m}$$

### 3.2 Tanque de almacenamiento y coagulador

Por requerimiento de la empresa EP-EMAPA-G, se diseñó el tanque para un volumen de  $5 \text{ m}^3$ , debido a futuros proyectos que se enlazarán a la planta de tratamiento.

En el tanque se diseñó el agitador de 6 paletas para realizar la coagulación.

Se utilizaron los resultados de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación de la **Tabla 31** y se emplearon como parámetros para el diseño y dosificación de químicos.

También se utilizó los criterios de diseño de la **Tabla 4**.

- **Cálculo del radio del tanque cilíndrico vertical**

**Datos:**

Diámetro del tanque, ***D***: 2 (m) (requerimiento EP. EMAPA –G)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 16**.

$$r = \frac{D}{2}$$

$$r = \frac{2 \text{ m}}{2}$$

$$r = 1 \text{ m}$$

- **Calculo de la altura del tanque cilíndrico vertical**

**Datos:**

Volumen del tanque, ***V***: 5 ( $m^3$ )

Radio del tanque, ***r***: 1( $m$ )

Pi, ***π***: 3.1416 (adimensional)

Se parte de la **Ecuación 17**.

$$V = \pi * r^2 * h$$

Despejando h, se tiene la **Ecuación 18**.

$$h = \frac{V}{\pi * r^2}$$

$$h = \frac{5m}{\pi * 1^2}$$

$$h = 1.60 m$$

- **Cálculo para el diseño del agitador de 6 paletas**

Se consideraron los valores de la **Tabla 4**.

**Datos:**

Diámetro del tanque, ***Dt***: 2 ( $m$ )

Para el cálculo del diámetro del agitador, se tiene:

$$\frac{Da}{4} = 0.3$$

Despejando ***Da***, se tiene:

$$Da = 0.3 * 4$$

$$Da = 1.2 m$$

- Cálculo de la altura del rodete sobre el fondo del tanque

$$\frac{C}{Dt} = \frac{1}{3}$$

Despejando  $C$ , se tiene:

$$C = \frac{1}{3} * Dt$$

$$C = \frac{1}{3} * 2$$

$$C = 0.66 \text{ m}$$

- Cálculo del ancho de las paletas

$$\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$$

Despejando  $W$ , se tiene:

$$W = \frac{1}{5} * Da$$

$$W = \frac{1}{5} * 1.2$$

$$W = 0.24 \text{ m}$$

- Cálculo del diámetro del sujetador de las paletas

$$\frac{Dd}{Da} = \frac{2}{3}$$

Despejando  $Dd$ , se tiene:

$$Dd = \frac{2}{3} * Da$$

$$Dd = \frac{2}{3} * 1.2$$

$$Dd = 0.80 \text{ m}$$

- Cálculo del ancho de las placas deflectoras

$$\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$$

Despejando  $J$ , se tiene:

$$J = \frac{1}{12} * Dt$$

$$J = \frac{1}{12} * 2$$

$$J = 0.16 \text{ m}$$

- Cálculo de la longitud de las palas del rodete

$$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$$

Despejando  $L$ , se tiene:

$$L = \frac{1}{4} * Da$$

$$L = \frac{1}{4} * 1.2$$

$$L = 0.3 \text{ m}$$

- Cálculo de la altura del líquido

$$\frac{H}{Dt} = 1$$

Despejando  $H$ , se tiene:

$$H = 1 * Dt$$

$$H = 1 * 2$$

$$H = 2 \text{ m}$$

Dado que por relación, la altura del agua es de 2 m, se le suma 0.90 m a la altura física del tanque, para completar la altura y agregarle una altura de seguridad. Se emplea la **Ecuación 19**.

$$h_T = h + h_s$$

$$h_T = 1.60 \text{ m} + 0.90 \text{ m}$$

$$h_T = 2.50 \text{ m}$$

- **Cálculo de la potencia del motor para el agitador**

**Datos:**

Gradiente de velocidad, **G**:  $60 \text{ (s}^{-1}\text{)}$  (Gradiente óptima para la coagulación, determinada en la prueba de jarras)

Volumen, **V**:  $5 \text{ (m}^3\text{)}$  (por requerimiento de la EP. EMAPA-G)

Viscosidad dinámica, **μ**:  $1.139 \times 10^{-3} \text{ (kg/m.s)}$  (Anexo 2)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 20**.

$$P = G^2 V \mu$$

$$P = (60 \text{ s}^{-1})^2 (5 \text{ m}^3) (1.139 \times 10^{-3} \text{ kg/ms})$$

$$P = 20.50 \text{ W}$$

Considerando una eficiencia del 80%, se tiene:

$$P = \frac{20.50 \text{ W}}{0.80} = 25.63 \text{ W}$$

- **Cálculo de la velocidad de rotación para el agitador**

Según criterios de diseño, se tiene:

**Datos:**

Potencia del motor, **P**:  $25.63 \text{ (W)}$ , equivale a  $(\text{kg m}^2/\text{s}^3)$

Constante de agitación para 6 paletas, **k**: 6.3 (adimensional)

Densidad del líquido, **δ**:  $999.19 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  (Anexo 2)

Diámetro del agitador, **Da**: (m)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 21**

$$N = \left( \frac{P}{k\delta Da^5} \right)^{1/3}$$

$$N = \left( \frac{25.63 \text{ kg m}^2/\text{s}^3}{6.3 * 999.19 \text{ kg/m}^3 * (2\text{m})^5} \right)^{1/3}$$

$$N = 0.050 \text{ rev/s}$$

$$N = 0.050 \frac{\text{rev}}{\text{s}} * \frac{60\text{s}}{1 \text{ min}}$$

$$N = 3 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

Se determinó el tiempo óptimo de mezcla en la prueba de jarras de 5 min.

Para la dosificación de químicos en la coagulación y floculación, se realizan los siguientes cálculos:

- **Cálculo de la dosificación de PAC-P25A**

Los datos a continuación fueron obtenidos mediante la prueba de jarras en el laboratorio. La concentración de PAC, es de 0.4 g/L

**Datos:**

Volumen de referencia de la prueba de jarras ,  $V_{P. Jarras}$ : 1 (L)

Volumen del tanque de almacenamiento y coagulación,  $V_{tanque}$ : 5 ( $\text{m}^3$ ) (por requerimiento de la EP. EMAPA-G.)

Dosis óptima de PAC en la prueba de jarras,  $D_{PAC Jarras}$  : 15 (mL/L)

Se requiere el volumen del tanque en litros, se realiza la siguiente conversión:

$$V_{tanque} = 5\text{m}^3 * \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3}$$

$$V_{tanque} = 5000\text{L}$$

Para encontrar la dosis de PAC, se realiza la **Ecuación 22**.



$$D_{PAC} = \frac{V_{tanque} * D_{PAC\ Jarras}}{V_{P.\ Jarras}}$$

$$D_{PAC} = \frac{5000L * 15mL}{L}$$

$$D_{PAC} = 75000mL$$

Realizando la conversión a litros se tiene:

$$D_{PAC} = 75000mL * \frac{1L}{1000mL}$$

$$D_{PAC} = 75\ L/día\ de\ tratamiento$$

La dosificación del químico es de 75 L por día de tratamiento, para el volumen del tanque de almacenamiento de 5000L.

La cantidad de PAC en gramos, es:

$$Cantidad\ de\ PAC = \frac{0.4g * 75\ L/día\ de\ tratamiento}{L}$$

$$Cantidad\ de\ PAC = 30\ g/día\ de\ tratamiento$$

- **Cálculo de la dosificación de Auxiliar de la coagulación (Chemfloc C-25)**

Los datos a continuación fueron obtenidos mediante la prueba de jarras en el laboratorio, se trabajó con el auxiliar de la coagulación (Chemfloc C-25) a una concentración de 0.2g/L.

**Datos:**

Volumen de referencia de la prueba de jarras ,  $V_{P.\ Jarras}$ : 1 (L)

Volumen del tanque de almacenamiento y coagulación,  $V_{tanque}$ : 5 ( $m^3$ ) (por requerimiento de la EP. EMAPA-G.)

Dosis óptima de Auxiliar en la prueba de jarras,  $D_{Auxiliar\ Jarras}$  : 15 (mL/L)

Se requiere el volumen del tanque en litros, se realiza la siguiente conversión:

$$V_{tanque} = 5m^3 * \frac{1000L}{1m^3}$$

$$V_{tanque} = 5000L$$

$$D_{Auxiliar} = \frac{V_{tanque} * D_{Auxiliar Jarras}}{V_{P. Jarras}}$$

$$D_{Auxiliar} = \frac{5000L * 15mL}{1L}$$

$$D_{Auxiliar} = 75000mL$$

Realizando la conversión a litros se tiene:

$$D_{Auxiliar} = 75000mL * \frac{1L}{1000mL}$$

$$D_{Auxiliar} = 75 L/día de tratamiento$$

La dosificación del químico es de 75 L por día de tratamiento al igual que el PAC, para el volumen del tanque de almacenamiento de 5000L.

La cantidad de Auxiliar en gramos, es:

$$Cantidad de Auxiliar = \frac{0.2g * 75 L/día de tratamiento}{L}$$

$$Cantidad de Auxiliar = 15 g/día de tratamiento$$

- **Cálculo la dosis de cal T-30**

Los datos a continuación fueron obtenidos mediante la prueba de jarras en el laboratorio. Se determinó la concentración de 0.2 g/L.

**Datos:**

Volumen de referencia de la prueba de jarras,  $V_{P. Jarras}$ : 1 (L)

Volumen del tanque de almacenamiento y coagulación,  $V_{tanque}$ : 5 ( $m^3$ ) (por requerimiento de la EP. EMAPA-G.)

Dosis de cal consumida en la prueba de jarras,  $D_{Cal Jarras}$  : 10 (mL/L)

Se requiere el volumen del tanque en litros, se realiza la siguiente conversión:

$$V_{tanque} = 5m^3 * \frac{1000L}{1m^3}$$

$$V_{tanque} = 5000L$$

$$D_{Cal} = \frac{V_{tanque} * D_{CalJarras}}{V_{P. Jarras}}$$

$$D_{Cal} = \frac{5000L * 10mL}{1L}$$

$$D_{Cal} = 50000mL$$

Realizando la conversión a litros se tiene:

$$D_{Cal} = 50000mL * \frac{1L}{1000mL}$$

$$D_{Cal} = 50 L/día de tratamiento$$

La dosificación de cal es de 50 L por día de tratamiento, para el volumen del tanque de almacenamiento de 5000L, la cal es fundamental para estabilizar la mezcla y el regular el pH.

La cantidad de Auxiliar en gramos, es:

$$Cantidad\ de\ Cal = \frac{0.2g * 50 L/día de tratamiento}{L}$$

$$Cantidad\ de\ Cal = 10 g/día de tratamiento$$

A partir del caudal efluente del laboratorio de 0.017 L/s, se estimó que el tanque de almacenamiento y coagulación llegaría a un volumen de 5m<sup>3</sup> en una semana, por lo tanto se dan cuatro días de tratamiento al mes:

$$D_{PAC} = 75 L/día de tratamiento * 4 días/mes = 300 L/mes$$

$$Cantidad\ de\ PAC = 30 g/día de tratamiento * 4 días/mes = 120 g/mes$$

$$D_{Auxiliar} = 75 L/día de tratamiento * 4 días/mes = 300 L/mes$$

$$Cantidad\ de\ Auxiliar = 15 g/día de tratamiento * 4 días/mes = 60 g/mes$$

$$D_{Cal} = 50 L/día de tratamiento * 4 días/mes = 200 L/mes$$

$$Cantidad\ de\ Cal = 10 g/día de tratamiento * 4 días/mes = 40 g/mes$$

- **Rendimiento de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación.**

Como ejemplo, se indica a continuación el cálculo del porcentaje de remoción y el rendimiento para el cobalto.

- **Porcentaje remanente**

**Datos:**

Concentración inicial (antes del tratamiento),  $C_1$ : 1.53 (mg/L)

Concentración final (después del tratamiento),  $C_2$  : 0.130 (mg/L)

$$\% \text{ Remanente} = \frac{C_2 * 100\%}{C_1}$$

$$\% \text{ Remanente} = \frac{0.130 \text{ mg/L} * 100\%}{1.53 \text{ mg/L}}$$

$$\% \text{ Remanente} = 8.4985\%$$

- **Rendimiento total**

**Datos:**

**% Remoción:** 8.4985 %

$$E = 100\% - \% \text{Remoción}$$

$$E = 100\% - 8.4985 \%$$

$$E = 91.501\%$$

### 3.3 Floculador de flujo horizontal

Para el dimensionamiento del floculador de flujo horizontal, se consideró el caudal máximo que pasa por la tubería después del tanque de almacenamiento y coagulación. Se emplearon los criterios de diseño de la **Tabla 5**.

Se realizaron los siguientes cálculos:

- **Cálculo del diámetro interno de la tubería**

**Datos:**

Diámetro externo de la tubería,  **$D_e$** : 0.09 (m)

Espesor de la tubería,  **$s$** : 0.0054 (m)

$$D_i = (D_e - s)$$

$$D_i = (0.09 - 0.0054) \text{ m}$$

$$D_i = 0.0846 \text{ m}$$

- **Cálculo del área transversal**

**Datos:**

Diámetro de la tubería,  **$D_i$** : 0.0846 (m)

Pi,  **$\pi$** : 3.1416

$$A = \frac{D_i^2 \pi}{4}$$

$$A = \frac{(0.0846)^2 \pi}{4}$$

$$A = 5.62 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

- **Cálculo del caudal**

**Datos:**

Área transversal,  **$A$** :  $5.62 \times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)}$ .

Velocidad,  **$v$** : 2.5 (m/s).

$$Q = A v$$

$$Q = (5.62 \times 10^{-3} \text{ m}^2)(2.5 \text{ m/s})$$

$$Q = 0.01405 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se realizaron los siguientes cálculos:

- **Cálculo del volumen relativo del floculador**

**Datos:**

Caudal, ***Q***: 0.014 ( $m^3/s$ )

Tiempo de retención, ***t***: 13 (*min*) (Tabla 5)

Se requiere el tiempo de retención en segundos, se realiza la siguiente conversión:

$$t = 13 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$
$$t = 780 \text{ s}$$

Se calcula el volumen relativo mediante la **Ecuación 25**

$$V = Q * t$$
$$V = 0.014 \frac{m^3}{s} * \frac{780}{2} s$$
$$V = 5.48 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del ancho del Floculador**

**Datos:**

Volumen relativo del floculador, ***V***: 5.48 ( $m^3$ ) (para cada sección)

Longitud del floculador, ***L***: 3 (*m*) (valor asumido)

Altura del floculador, ***H***: 0.80 (*m*) (valor asumido)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 26**

$$B = \frac{V}{L * H}$$
$$B = \frac{5.48m^3}{3m * 0.80m}$$

$$B = 2.28 \text{ m} \approx 2.30 \text{ (Por fines de construcción)}$$

- **Cálculo del volumen total del floculador**

**Datos:**

Ancho del floculador, ***B***: 2.30 (*m*)

Longitud del floculador, ***L***: 3 (*m*)

Altura del floculador, ***H***: 0.80 (*m*)

El cálculo para el volumen total se realiza mediante la **Ecuación 27**

$$\begin{aligned}V_T &= B * L * H \\V_T &= 2.30m * 3m * 0.80m \\V_T &= 5.52m^3\end{aligned}$$

- **Cálculo del ancho unitario**

**Datos:**

Ancho del Floculador, ***B***: 2.30 (*m*)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 28**

$$\begin{aligned}W &= \frac{B}{3} \\W &= \frac{2.30m}{3} \\W &= 1.15m\end{aligned}$$

- **Cálculo del número de compartimientos (Según Richter)**

**Datos:**

Altura del floculador, ***H***: 0.80 (*m*)

Longitud del floculador, ***L***: 3 (*m*)

Gradiente de velocidad, ***G***: 30/3(*s*<sup>-1</sup>) (dividido para las dos secciones)

Caudal, ***Q***: 0.014 (*m*<sup>3</sup>/*s*)

Viscosidad dinámica del fluido,  $\mu$ :  $1.39 \times 10^{-3} (kg/ms)$  (Anexo 2)

Densidad,  $\delta$ :  $999.19 (kg/m^3)$  (Anexo 2)

Coefficiente,  $f$ : 0.3

Tiempo de retención,  $t$ :  $13/2 (min)$  (dividido para las dos secciones)

Se requiere el tiempo de retención en segundos, se realiza la siguiente conversión:

$$t = 13 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$
$$t = \frac{780 \text{ s}}{2} = 390 \text{ s}$$

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 29**

$$N = \left[ \left( \frac{2 * \mu * t}{\delta * (1.44 + f)} \right) \left( \frac{H * L * G}{Q} \right)^2 \right]^{1/3}$$
$$N = \left[ \left( \frac{2 * (1.39 \times 10^{-3} \text{ kg/ms}) * 390 \text{ s}}{999.19 \text{ kg/m}^3 * (1.44 + 0.3)} \right) \left( \frac{0.80 \text{ m} * 3 \text{ m} * 15 \text{ s}^{-1}}{0.014 \text{ m}^3/\text{s}} \right)^2 \right]^{1/3}$$

$$N = 15,99 \approx 15 \text{ unidades} \text{ (Por fines de construcción) (Para cada sección)}$$

- **Cálculo para la separación entre pantallas**

**Datos:**

Longitud del floculador,  $L$ : 3 (m)

Número de compartimientos,  $N$ : 15 (unidades)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 30**

$$e = \frac{L}{N}$$
$$e = \frac{3 \text{ m}}{15}$$
$$e = 0.20 \text{ m}$$



- **Cálculo de la separación real entre pantallas**

**Datos:**

Separación entre pantallas, ***e***: 0.20 (*m*)

Espesor de las pantallas, ***em***: 0.03 (*m*) (valor asumido)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 31**

$$a_1 = e - em$$

$$a_1 = 0.20m - 0.03m$$

$$a_1 = 0.17 m$$

- **Cálculo de la separación entre la pantalla y la pared**

**Datos:**

Separación real entre pantallas, ***a<sub>1</sub>***: 0.17(*m*)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 32**

$$d = 1.5 * a_1$$

$$d = 1.5 * 0.17 m$$

$$d = 0.25 m$$

- **Calculo del ancho de pantallas**

**Datos:**

Ancho unitario, ***W***: 1.15 (*m*)

Separación entre la pantalla y la pared, ***d***: 0.25 (*m*)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 33**

$$c = W - d$$

$$c = 1.15m - 0.25m$$

$$c = 0.90 m$$

- **Cálculo de la pérdida de carga en los canales**

**Datos:**

Viscosidad dinámica del fluido,  $\mu$ :  $1.39 \times 10^{-3} (kg/ms)$

Tiempo de retención,  $t$ :  $13/2 (min)$  (dividido para las dos secciones)

Gradiente de velocidad,  $G$ :  $30/2 (s^{-1})$  (dividido para las dos secciones)

Densidad del líquido,  $\delta$ :  $999.19 (kg/m^3)$

Gravedad,  $g$ :  $9.8 (m/s^2)$

Se requiere el tiempo de retención en segundos, se realiza la siguiente conversión:

$$t = 13 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$t = \frac{780 \text{ s}}{2} = 390 \text{ s}$$

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 34**.

$$h_1 = \frac{\mu * t * G^2}{\delta * g}$$

Para la primera sección:

$$h_1 = \frac{(1.39 \times 10^{-3} \text{ kg/ms}) * (390 \text{ s}) * (15 \text{ s}^{-1})^2}{(999.19 \text{ kg/m}^3) * (9.8 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_1 = 0.012 \text{ m}$$

Para la segunda sección:

$$h_1 = \frac{(1.39 \times 10^{-3} \text{ kg/ms}) * (390 \text{ s}) * (15 \text{ s}^{-1})^2}{(999.19 \text{ kg/m}^3) * (9.8 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_1 = 0.012 \text{ m}$$

- **Cálculo del área de los canales del floculador**

**Dónde:**

Separación real entre pantallas,  **$a_1$** : 0.17 (m)

Altura del floculador,  **$H$** : 0.80 (m)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 35**.

$$A = a_1 * H$$

Para la primera sección:

$$A = 0.17 \text{ m} * 0.80 \text{ m}$$

$$A = 0.14 \text{ m}^2$$

Para la segunda sección:

$$A = 0.17 \text{ m} * 0.80 \text{ m}$$

$$A = 0.14 \text{ m}^2$$

- **Cálculo de la velocidad de flujo**

**Datos:**

Caudal,  **$Q$** : 0.014 (m<sup>3</sup>/s)

Área de los canales del floculador,  **$A$** : 0.14 (m<sup>2</sup>)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 36**.

$$v = \frac{Q}{A}$$

Para la primera sección:

$$v = \frac{0.014 \text{ m}^3/\text{s}}{0.14 \text{ m}^2}$$

$$v = 0.10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para la segunda sección:

$$v = \frac{0.014 \text{ m}^3/\text{s}}{0.14 \text{ m}^2}$$

$$v = 0.10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Cálculo de la pendiente al 5%**

**Datos:**

Para ambas secciones:

Longitud del floculador, ***L***: 3 (*m*)

***tg α***: 0.05 (5% de la pendiente)

Se parte de la trigonometría haciendo relación a la pendiente, **Ecuación 37**.

$$tg \alpha = \frac{h}{L}$$

Se despeja *h* de la **Ecuación 37**, se obtiene la **Ecuación 38**.

$$h = tg \alpha * L$$

$$h = 0.05 * 3m$$

$$h = 0.15 \text{ m}$$

### **3.4 Sedimentador de alta tasa**

Para el dimensionamiento del sedimentador de alta tasa, se consideró el caudal máximo que pasa por la tubería después del floculador de flujo horizontal, que es de 0.014 (*m*<sup>3</sup>/*s*). Para el diseño se consideró: Altura del líquido sobre las placas (*Hsp*): 0.15 *m* y Altura del líquido por debajo las placas (*Hdp*): 0.25 *m*. *θ*: 60° para que los lodos se depositen en la base del sedimentador. En general se consideraron los criterios de la **Tabla 6**.

Se realizaron los siguientes cálculos:

- **Cálculo del área del sedimentador**

**Datos:**

Longitud del sedimentador, ***Ls***: 4 (m)

Ancho del sedimentador, ***bs***: 2 (m)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 39**.

$$As = Ls * bs$$

$$As = 4m * 2m$$

$$As = 8 m^2$$

- **Cálculo de la carga superficial del sedimentador**

**Datos:**

Caudal, ***Q***: 0.014 (m<sup>3</sup>/s)

Área del sedimentador, ***As***: 8 (m<sup>2</sup>)

Se requiere el caudal en m<sup>3</sup>/día, es necesaria la siguiente conversión:

$$Q = 0.014 \frac{m^3}{s} * \frac{3600 s}{1 día}$$

$$Q = 1214.2 \frac{m^3}{día}$$

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 40**.

$$Cs = \frac{Q}{As}$$

$$Cs = \frac{1214.2 m^3 / día}{8 m^2}$$

$$Cs = 151.78 \frac{m^3}{m^2 día}$$

- **Cálculo de la velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas**

**Datos:**

Caudal,  **$Q$** :  $0.014 \text{ (m}^3/\text{s)}$

Área superficial,  **$As$** :  $8 \text{ (m}^2\text{)}$

Angulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta,  **$\theta$** : tasa  $60^\circ$ .

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 41**.

$$v_o = \frac{Q}{As * Sen\theta}$$

$$v_o = \frac{0.014 \text{ m}^3/\text{s}}{8\text{m} * Sen60}$$

$$v_o = 0.0020 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Cálculo de la longitud relativa del sedimentador de alta tasa**

**Datos:**

Longitud recorrida a través del elemento (placas),  **$l$** :  $1 \text{ (m)}$

Ancho del conducto o espaciamiento entre placas,  **$dp$** :  $0.13 \text{ (m)}$

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 42**.

$$Lr = \frac{L}{dp}$$

$$Lr = \frac{1}{0.13}$$

$$Lr = 7.69 \text{ m}$$

- **Cálculo del número de Reynolds**

**Datos:**

Velocidad promedio entre placas inclinada,  $v_o$ : 0.0020(m/s)

Ancho del conducto o espaciamiento entre placas,  $dp$ : 0.13 (m)

Viscosidad cinemática,  $\nu$ :  $1.14 \times 10^{-6} (m^2/s)$

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 43**.

$$Re = \frac{v_o * dp}{\nu}$$

$$Re = \frac{(0.0020 \text{ m/s}) * (0.13 \text{ m})}{1.14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 231.50$$

- **Cálculo de la longitud de transición**

**Datos:**

Numero de Reynolds,  $Re$ : 231.50

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 44**.

$$L' = 0.013 * Re$$

$$L' = 0.013 * 231.50$$

$$L' = 3.01 \text{ m}$$

- **Cálculo de la longitud relativa del sedimentador de alta tasa corregida en la longitud de transición**

**Datos:**

Longitud relativa del sedimentador de alta tasa,  $Lr$ : 7.69 (m)

Longitud de transición,  $L'$ : 3.01 (m)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 45**.

$$Lcr = Lr - L'$$

$$Lcr = 7.69\text{ m} - 2.01\text{ m}$$

$$Lcr = 4.68\text{ m}$$

- **Cálculo de la velocidad de sedimentación critica**

**Datos:**

Velocidad promedio del fluido entre placas,  $v_o$ : 0.0020(m/s)

Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa,  $\theta$ : 60°

Parámetro característico,  $Sc$ : 1.0 (para sedimentadores de placas paralelas)

Longitud relativa del sedimentador de alta tasa corregida en la longitud de transición,  $Lcr$ : 4.68 (m)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 46**.

$$v_{sc} = \frac{Sc * v_o}{Sen\theta + (Lcr * cos\theta)}$$

$$v_{sc} = \frac{1 * 0.00135\text{ m/s}}{Sen60 + (4.68 * cos60)}$$

$$v_{sc} = 0.00063 \frac{m}{s}$$

- **Cálculo del tiempo de retención en las placas**

**Dónde:**

Longitud recorrida a través del elemento (placas),  $L$ : 1 (m)

Velocidad promedio del fluido en el sedimentador,  $v_o$ : 0.0020 (m/s)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 47**.

$$Trp = \frac{L}{v_o}$$



$$Trp = \frac{1 \text{ m}}{0.0020 \text{ m/s}}$$

$$Trp = 493.01 \text{ s} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$Trp = 8.21 \text{ min}$$

- Cálculo del tiempo de retención en el tanque de sedimentación

**Datos:**

Caudal, **Q**: 0.014 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Altura total, **Hs**: 2 ( $\text{m}$ ) (valor asumido)

Área del sedimentado, **As**: 8 ( $\text{m}$ )

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 48**.

$$Trs = \frac{As * Hs}{Q}$$

$$Trs = \frac{8 \text{ m} * 2 \text{ m}}{0.014 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$Trs = 1138.55 \text{ s} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$Trs = 18.98 \text{ min}$$

- Cálculo del número de placas por módulo

**Datos:**

Longitud recorrida a través del elemento (placas), **L**: 1 ( $\text{m}$ )

Ángulo de inclinación de las placas, **θ**: 60°

Separación entre placas, **ds**: 0.10 ( $\text{m}$ )

Espesor de las placas, **ep**: 0.01 ( $\text{m}$ )

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 49**.

$$Np = \frac{(L * Sen\theta) + ds}{ds + ep}$$

$$Np = \frac{(1m * Sen60) + 0.10m}{0.10m + 0.01m}$$

$$Np = 8.78 \approx 8 \text{ unidades (Por fines de construcción)}$$

- **Cálculo del volumen del sedimentador**

**Datos:**

Longitud del sedimentador, **Ls:** 4 (m)

Ancho del sedimentado, **bs:** 2 (m)

Altura del sedimentador, **Hs:** 2 (m)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 50**.

$$Vd = Ls * bs * Hs$$

$$Vd = 4m * 2m * 2m$$

$$Vd = 16 m^3$$

- **Cálculo de la altura de las placas**

**Datos:**

Longitud recorrida a través del elemento (placas), **L:** 1 (m)

Ángulo de inclinación de las placas, **θ:** 60°

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 51**.

$$Hp = L * Sen\theta$$

$$Hp = 1m * Sen60$$

$$Hp = 0.87 m$$

### 3.5 Eras de secado

Para los cálculos, se tomaron los criterios de: la **Tabla 8** y la **Tabla 9**.

- **Cálculo de la carga de sólidos**

**Datos:**

Caudal, ***Q***: 0.78 (L/s)

Sólidos suspendidos, ***SS***: 50 (mg/L)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 52**.

$$C = Q * SS$$

$$C = 0.78 \frac{L}{s} * 50 \frac{mg}{L}$$

$$C = 39.04 \frac{mg}{s} * \frac{1g}{1000mg} * \frac{1kg}{1000g} * \frac{86400 s}{1 h}$$

$$C = 3.37 \frac{kg}{día}$$

- **Cálculo de la masa de sólidos que conforman los lodos**

**Datos:**

Carga de sólidos, ***C***: 3.37 (kg/día)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 53**.

$$Msd = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C)$$

$$Msd = (0.5 * 0.7 * 0.5 * 3.37 \text{ kg/día}) + (0.5 * 0.3 * 3.37 \text{ kg/día})$$

$$Msd = 1.10 \frac{kg}{día}$$

- **Cálculo del volumen diario de lodos digeridos**

**Datos:**

Masa de sólidos que conforman los lodos, ***Msd***: 1.10 (kg/día)

Densidad del lodo,  $\rho_{lodos}$ : 1.04 (Kg/L)

Porcentaje de sólidos, %**Sólidos**: 12 (%)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 54**.

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodos} \left( \frac{\%Sólidos}{100\%} \right)}$$

$$Vld = \frac{1.10 \text{ kg/día}}{1.04 \text{ Kg/L} \left( \frac{12\%}{100\%} \right)}$$

$$Vld = 8.78 \frac{L}{día}$$

- **Cálculo del volumen de lodos a extraerse**

**Datos:**

**Vld:** Volumen diario de lodos digeridos 8.78 (L/día)

**Td:** Tiempo requerido para la digestión de lodos 55 (día)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 55**.

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000}$$

$$Vel = \frac{8.78 \text{ L/día} * 55 \text{ días}}{1000}$$

$$Vel = 0.48 \text{ L}$$

- **Cálculo del área de las eras de secado**

**Datos:**

Volumen de lodos a extraerse, **Vel**: 0.48 (m<sup>3</sup>)

Profundidad de aplicación, **Ha**: 2 (m)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 56**.

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

$$Als = \frac{0.48m^3}{2m}$$

$$Als = 1.21 m^2$$

- Cálculo del área individual de las eras de secado

**Datos:**

Área del lecho de sacado, **Als:** 1.21 ( $m^2$ )

**Nº de secciones:** 2 (unidades)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 57**.

$$Als_i = \frac{Als}{N^{\circ} Lechos}$$

$$Als_i = \frac{1.21 m^2}{2}$$

$$Als_i = 0.60 m^2$$

- Cálculo de la longitud de las eras de secado

**Datos:**

Área individual de las eras de secado, **Als<sub>i</sub>:** 0.60 ( $m^2$ )

Ancho del lecho, **b:** 2 ( $m$ )

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 58**.

$$L = \frac{Als_i}{b}$$

$$L = \frac{0.60 m^2}{2m}$$

$$L = 0.30 m$$

### 3.6 Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)

Para el dimensionamiento del FAFA, se consideró un caudal de 0.78 L/s, que corresponde al caudal que pasa por la tubería a media vuelta abierta la válvula. Se consideró diseñar dos unidades. Los criterios de diseño se tomaron de la **Tabla 10**.

- **Cálculo del volumen del filtro**

**Datos:**

Caudal, **Q**: 0.78 (L/s)

Tiempo de retención hidráulica, **Tr**: 1 (día)

Se requiere el caudal en  $m^3/día$ , por lo tanto se realiza la siguiente conversión:

$$Q = 0.78 \frac{L}{s} * \frac{1m^3}{1000L} \frac{86400 s}{1 día}$$

$$Q = 67.45/2 \frac{m^3}{día}$$

$$Q = 33.73 \frac{m^3}{día}$$

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 59**.

$$V_f = Q * Tr$$

$$V_f = 33.73 \frac{m^3}{día} * 1día$$

$$V_f = 33.73m^3$$

- **Cálculo del área horizontal del filtro**

**Datos:**

Volumen del filtro, **V<sub>f</sub>**: 33.73 ( $m^3$ )

Profundidad útil del filtro, **H<sub>u</sub>**: 1.80 (m)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 60**.

$$A_f = \frac{V_f}{H_u}$$

$$A_f = \frac{33.73 \text{ m}^3}{1.80 \text{ m}}$$

$$A_f = 18.74 \text{ m}^2 \text{ (Para cada unidad)}$$

- **Cálculo de la longitud del filtro**

**Datos:**

Área horizontal del filtro,  **$A_f$** : 18.74 ( $\text{m}^2$ )

Ancho del filtro,  **$b$** : 3 ( $\text{m}$ ) (Para cada unidad)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 61**.

$$L = \frac{A_f}{b}$$

$$L = \frac{18.74 \text{ m}^2}{3 \text{ m}}$$

$$L = 6.25 \text{ m} \approx 6 \text{ m} \text{ (Por fines de construcción) (Para cada unidad)}$$

- **Cálculo de la altura total de la cámara**

**Datos:**

Profundidad útil del filtro,  **$H_u$** : 1.80 ( $\text{m}$ )

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 62**.

$$H_{Tf} = H_u + 0.30$$

$$H_{Tf} = 1.80 \text{ m} + 0.30$$

$$H_{Tf} = 2.10 \text{ m}$$

### 3.7 Tanque de desinfección

Para el dimensionamiento del tanque de desinfección se realizaron los siguientes cálculos:

- **Cálculo del volumen del tanque**

**Datos:**

Caudal,  **$Q$** :  $0.00625 \text{ (m}^3/\text{s)}$  (caudal de la tubería con 4 vueltas abiertas la válvula de compuerta)

Tiempo de retención,  **$Tr$** :  $1.5 \text{ (min)}$  (especificación técnica)

Se requiere el tiempo en segundos, por lo tanto se realiza la siguiente conversión:

$$Tr = 1.5 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$Tr = 90 \text{ s}$$

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 63**.

$$V = Q * Tr$$

$$V = 0.00625 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 90 \text{ s}$$

$$V = 0.56 \text{ m}^3$$

- **Cálculo de la altura del tanque**

**Datos:**

Volumen del tanque,  **$V$** :  $0.56 \text{ (m}^3\text{)}$

Longitud del tanque,  **$L$** :  $1 \text{ (m)}$

Ancho del tanque,  **$b$** :  $0.50 \text{ (m)}$



El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 64**.

$$A_t = \frac{V}{L * b}$$

$$A_t = \frac{0.56 \text{ m}^3}{1 \text{ m} * 0.50 \text{ m}}$$

$$A_t = 1.12 \text{ m}$$

- **Cálculo de la altura total del tanque**

**Datos:**

Altura del tanque,  $A_t$ : 1.12 (m)

Altura de seguridad del tanque,  $A_s$ : 0.20 (m)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 65**.

$$A_T = A_t + A_s$$

$$A_T = 1.12 \text{ m} + 0.20 \text{ m}$$

$$A_T = 1.32 \text{ m} \approx 1.30 \text{ (Por fines de construcción)}$$

Para la dosificación del desinfectante, se utilizó el hipoclorito de calcio y se realizaron los siguientes cálculos:

- **Cálculo de la dosis-masa de Hipoclorito de calcio (HTH) para la preparación de la solución madre**

**Datos:**

Constante adimensional, **0.012**

Caudal,  $Q$ : 0.00625 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) (caudal de la tubería con 4 vueltas abiertas la válvula de compuerta, mismo con el que se diseñó el tanque para la desinfección)

Concentración de hipoclorito de calcio HTH,  $C$ : 1 ( $\text{mg}/\text{L}$ ) (requerimiento de EP. EMPAPA-G

Se requiere el caudal en *gal/min*, se realiza la siguiente conversión:

$$Q = 0.00625 \frac{m^3}{s} * \frac{60s}{1 \text{ min}} * \frac{1000L}{1 m^3} * \frac{1 \text{ gal}}{3.785}$$

$$Q = 99.0 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Se realiza el cálculo mediante la **Ecuación 66**, se da una condición particular debido a la constante de 0.012, que proporciona una equivalencia a libras por día, por lo que se consideran los valores sin unidades.

$$Dm_{HTH} = 0.012 * Q * C$$

$$Dm_{HTH} = 0.012 * 99.0 * 1$$

$$Dm_{HTH} = 1.19 \text{ lb/día}$$

- Cálculo del volumen de agua teórico para diluir el hipoclorito de calcio (HTH), para la preparación de la solución madre

**Datos:**

Masa del hipoclorito de calcio,  $m_{HTH}$ : 1.19 (lb)

Densidad del hipoclorito de calcio,  $\rho_{HTH}$ : 0.8 (kg/L) (especificaciones técnicas de la casa química del producto)

Se requiere la masa de HTH en gramos, se realiza la siguiente conversión:

$$m_{HTH} = 1.19 \text{ lb} * \frac{453.592 \text{ g}}{1 \text{ lb}}$$

$$m_{HTH} = 539.77 \text{ g}$$

Se requiere la densidad del HTH en gramos por litro, se realiza la siguiente conversión:

$$\rho_{HTH} = 0.8 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * \frac{1000\text{g}}{1\text{kg}}$$

$$\rho_{HTH} = 800 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 67**.

$$V_{distn} = \frac{m_{HTH}}{\rho_{HTH}}$$

$$V_{distn} = \frac{539.77 \text{ g}}{800 \text{ g/L}}$$

$$V_{distn} = 0.68 \text{ L}$$

- **Cálculo del volumen de la solución madre**

**Datos:**

$V_{distn}$ : Volumen de agua para diluir hipoclorito de calcio (HTH) 0.68 (L)

Porcentaje de humedad, 8.5 % (especificación técnica del HTH)

Despejando  $V_1$ , se obtiene la **Ecuación 68**.

$$V_1 = \frac{V_{distn} * 65 \%}{8.5 \%}$$

$$V_1 = \frac{0.68 \text{ L} * 65 \%}{8.5 \%}$$

$$V_1 = 5.16 \text{ L}$$

- **Cálculo del volumen de agua requerida para diluir la solución madre**

**Datos:**

Concentración de la dosificación de hipoclorito de calcio (HTH),  $C_1$ : 1 (mg/L) (requerimiento de EP. EMAPA-G)

Concentración de hipoclorito de calcio (HTH),  $C_2$ : 0.65 (mg/L) (especificación técnica)

Volumen de la solución madre,  $V_1$ : 5.16 (L)

$$V_2 = \frac{C_1 V_1}{C_2}$$

$$V_2 = \frac{1 \text{ mg/L} * 5.16 \text{ L}}{0.65 \text{ mg/L}}$$

$$V_2 = 7.94 \text{ L}$$

- **Cálculo del volumen total de la solución**

**Datos:**

Volumen de la solución madre,  $V_1$ : 7.94 (L)

Volumen de agua requerida,  $V_2$ : 0.68 (L)

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$V_T = 7.94 \text{ L} + 0.68 \text{ L}$$

$$V_T = 8.62 \text{ L}$$

Se asume que  $V_T$  es el volumen de la solución total para el día, entonces la solución por goteo, se calcula mediante la siguiente conversión:

$$Goteo = 8.62 \frac{\text{L}}{\text{día}} * \frac{1000\text{mL}}{1\text{L}} * \frac{1\text{día}}{24 \text{ h}} * \frac{1\text{h}}{60 \text{ min}}$$

$$Goteo = 5.99 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$$

### 3.8 Tanque de almacenamiento final

Para su dimensionamiento se consideró un tanque cilíndrico vertical, se utilizaron las mismas ecuaciones y datos que en el tanque de almacenamiento inicial por requerimiento de la EP. EMAPA-G, lo único que varía es la altura total, porque no se le suma la altura de seguridad.

- **Cálculo del radio del tanque cilíndrico vertical**

**Datos:**

Diámetro del tanque, ***D***: 2 (*m*) (requerimiento EP. EMAPA –G)

El cálculo se realiza mediante la **Ecuación 11**.

$$r = \frac{D}{2}$$

$$r = \frac{2m}{2}$$

$$r = 1 \text{ m}$$

- **Calculo de la altura del tanque cilíndrico vertical**

**Datos:**

Volumen del tanque, ***V***: 5 (*m*<sup>3</sup>)

Radio del tanque, ***r***: 1(*m*)

Pi, ***π***: 3.1416 (adimensional)

Se parte de la **Ecuación 12**.

$$V = \pi * r^2 * h$$

Despejando h, se tiene la **Ecuación 13**.

$$h = \frac{V}{\pi * r^2}$$

$$h = \frac{5m}{\pi * 1^2}$$

$$h = 1.60 \text{ m}$$

### 3.9 Resumen del dimensionamiento

**Tabla 20. Dimensionamiento de rejillas**

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal	Q	m <sup>3</sup> /s	1.73x10 <sup>-5</sup>
Velocidad	v	m/s	0.5
Ángulo de inclinación	$\alpha$	°	40
Espesor de las barras	S	m	1.27x10 <sup>-2</sup>
Separación entre barras	e	m	0.02
Área libre al paso del agua	A <sub>L</sub>	m <sup>2</sup>	3.46x10 <sup>-5</sup>
Ancho del canal	B	m	0.40
Altura del tirante del canal	h <sub>a</sub>	m	0.20
Longitud de barras	L <sub>b</sub>	m	0.31
Longitud del canal	L	m	0.40
Altura total	h <sub>T</sub>	m	0.30
Número de barras	N <sub>b</sub>	unidades	12
Pérdida de carga	h	----	8.01x10 <sup>-3</sup>

Elaborado por: Mabel Zapata

**Tabla 21. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento inicial**

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen del tanque	V	m <sup>3</sup>	5
Diámetro del tanque	D	m	2
Radio del tanque	r	m	1
Altura del tanque	h	m	2.50

Elaborado por: Mabel Zapata

**Tabla 22. Dimensionamiento del agitador de 6 paletas**

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Diámetro del agitador	Da	m	1.2
Altura del rodete sobre el fondo del tanque	C	m	0.66
Ancho de las paletas	W	m	0.24
Diámetro del sujetador de las paletas	Dd	m	0.80

Ancho de las placas deflectoras	J	m	0.16
Longitud de las palas del rodete	L	m	0.3
Altura del líquido	H	m	2
Potencia del motor para el agitador	P	W	25.63
Velocidad de rotación para el agitador	N	rev/s	0.05
Tiempo óptimo de mezcla	$t_o$	min	5

Elaborado por: Mabel Zapata

**Tabla 23. Dosificación de químicos para la coagulación y floculación**

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Concentración de PAC-P25A	$C_{PAC}$	g/L	0.4
Concentración de Auxiliar (Chemfloc C-25)	$C_{Auxiliar}$	g/L	0.2
Concentración de Cal T-30	$C_{cal}$	g/L	0.2
Dosis diaria de PAC-P25A	$D_{PAC}$	L/día de tratamiento	75
Cantidad diaria de PAC-P25A	Cantidad PAC	g/día de tratamiento	30
Dosis diaria de Auxiliar (Chemfloc C-25)	$D_{Auxiliar}$	L/día de tratamiento	75
Cantidad diaria de Auxiliar (Chemfloc C-25)	Cantidad Auxiliar	g/día de tratamiento	15
Dosis diaria de Cal T-30	$D_{cal}$	L/día de tratamiento	50
Cantidad diaria de Cal T-30	Cantidad cal	g/día de tratamiento	10
Dosis mensual de PAC-P25A	$D_{PAC}$	L/mes	300
Cantidad mensual de PAC-P25A	Cantidad PAC	g/mes	120
Dosis mensual de Auxiliar (Chemfloc C-25)	$D_{Auxiliar}$	L/mes	300
Cantidad mensual de Auxiliar (Chemfloc C-25)	Cantidad Auxiliar	g/mes	60
Dosis mensual de Cal T-30	$D_{cal}$	L/mes	200
Cantidad mensual de Cal T-30	Cantidad Cal	g/mes	40

Elaborado por: Mabel Zapata

**Tabla 24. Caudal de la tubería**

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Diámetro externo de la tubería	De	m	0.09
Espesor de la tubería	s	m	0.0054
Velocidad	v	m/s	2.5
Diámetro interno de la tubería	Di	m	0.0846
Área transversal	A	m <sup>2</sup>	0.0056
Caudal	Q	m <sup>3</sup> /s	0.014

Elaborado por: Mabel Zapata

**Tabla 25. Dimensionamiento del floculador de flujo horizontal**

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal	Q	m <sup>3</sup> /s	0.014
Tiempo de retención	t	min	13
Gradiente de velocidad	G	s <sup>-1</sup>	30
Longitud del floculador	L	m	3
Altura del floculador	H	m	0.80
Espesor de las pantallas	em	m	0.03
Volumen relativo del floculador	V	m <sup>3</sup>	5.46
Ancho del Floculador	B	m	2.30
Volumen total del floculador	V	m <sup>3</sup>	5.6
Ancho unitario (para cada sección)	W	m	1.15
Número de compartimientos (para cada sección)	N	unidades	15
Separación entre pantallas	e	m	0.20
Separación real entre pantallas	a <sub>1</sub>	m	0.17
Separación entre la pantalla y la pared	d	m	0.25
Ancho de pantallas (para cada sección)	c	m	0.90
Pérdida de carga en los canales (para cada sección)	h <sub>1</sub>	m	0.012
Área de los canales del floculador (para cada sección)	A	m <sup>2</sup>	0.14
Velocidad de flujo (para cada sección)	v	m/s	0.10



Profundidad de la pendiente 5%	h	m	0.15
--------------------------------	---	---	------

Elaborado por: Mabel Zapata

**Tabla 26. Dimensionamiento del sedimentador de alta tasa**

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal	Q	m <sup>3</sup> /s	0.014
Gradiente de velocidad	G	s <sup>-1</sup>	30
Longitud del sedimentador	Ls	m	4
Ancho del sedimentador	bs	m	2
Longitud recorrida a través del elemento	L	m	1
Ángulo de inclinación	$\theta$	Grados °	60
Altura del líquido sobre las placas	Hsp	M	0.35
Altura del líquido por debajo las placas	Hdp	M	0.8
Área del sedimentador	As	m <sup>2</sup>	8
Carga superficial del sedimentador	Cs	m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> día	151.78
Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas	v <sub>o</sub>	m/s	0.0020
Longitud relativa del sedimentador de alta tasa	Lr	M	7.69
Número de Reynolds	Re	----	231.50
Longitud de transición	L'	M	3.01
Longitud relativa del sedimentador de alta tasa corregida en la longitud de transición	Lcr	M	4.68
Velocidad de sedimentación crítica	V <sub>sc</sub>	m/s	0.00036
Tiempo de retención en las placas	Trp	min	8.21
Tiempo de retención en el tanque de sedimentación	Trs	min	18.98
Número de placas por módulo	Np	unidades	8
Separación entre placas	ds	M	0.10
Espesor de las placas	ep	M	0.01
Volumen del sedimentador	Vd	m <sup>3</sup>	16
Altura de las placas	Hp	M	0.87

Elaborado por: Mabel Zapata

**Tabla 27. Dimensionamiento de las eras de secado**

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal	Q	L/s	0.78
Sólidos suspendidos	SS	mg/L	50
Porcentaje de Sólidos	%sólidos	%	12
Tiempo requerido para la digestión de lodos	Td	día	55
Profundidad de aplicación	Ha	m	0.4
Número de lechos	Nºlechos	unidades	2
Ancho del lecho	b	m	2
Carga de sólidos	C	kg/día	3.37
Masa de sólidos que conforman los lodos	Msd	kg/día	1.10
Área de las eras de secado	Als	m <sup>2</sup>	1.21
Área individual de las eras de secado	Als <sub>i</sub>	m <sup>2</sup>	0.60
Longitud de las eras de secado	L	m	0.30

Elaborado por: Mabel Zapata

**Tabla 28. Dimensionamiento del filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)**

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal (para cada unidad)	Q	m <sup>3</sup> /día	33.73
Tiempo de retención hidráulica (para cada unidad)	Tr	día	1
Profundidad útil del filtro (para cada unidad)	Hu	m	1.8
Ancho del filtro (para cada unidad)	b	m	3
Volumen del filtro (para cada unidad)	V <sub>f</sub>	m <sup>3</sup>	33.73
Área horizontal del filtro (para cada unidad)	A <sub>f</sub>	m <sup>2</sup>	18.74
Longitud del filtro (para cada unidad)	L	m	6
Altura total de la cámara (para cada unidad)	H <sub>Tf</sub>	m	2.10

Elaborado por: Mabel Zapata

**Tabla 29. Dimensionamiento del tanque de desinfección**

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal	Q	m <sup>3</sup> /s	0.00625
Tiempo de retención	Tr	min	1.5
Longitud del tanque	L	m	1
Ancho del tanque	b	m	0.50
Volumen del tanque	V	m <sup>3</sup>	0.56
Altura del tanque	A <sub>t</sub>	m	1.12
Altura del seguridad del tanque	A <sub>s</sub>	m	0.20
Altura total del tanque	A <sub>T</sub>	m	1.30

Elaborado por: Mabel Zapata

**Tabla 30. Dosificación del desinfectante hipoclorito de calcio (HTH)**

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Concentración de la dosificación de hipoclorito de calcio (HTH)	C <sub>1</sub>	mg/L	1
Concentración de hipoclorito de calcio (HTH)	C <sub>2</sub>	mg/L	0.65
Volumen de la solución madre	V <sub>1</sub>	L	5.16
Volumen de agua requerida para diluir la solución madre	V <sub>2</sub>	L	7.94
Volumen total de la solución	V <sub>T</sub>	L	8.62
Dosificación por goteo (por día de tratamiento)	Goteo	mL/min	5.99

Elaborado por: Mabel Zapata

**Tabla 31. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento final**

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen del tanque	V	m <sup>3</sup>	5
Diámetro del tanque	D	m	2
Radio del tanque	r	m	1
Altura del tanque	h	m	1.60

Elaborado por: Mabel Zapata

### 3.10 Rendimiento del proceso de depuración

Se consideró la remoción de  $\text{DBO}_5$ , DQO y sólidos suspendidos de la coagulación y floculación, la sedimentación, y de la filtración.

La remoción de las rejillas es despreciable, porque no es capaz reducir la concentración de contaminantes.

En el tanque de desinfección la remoción de patógenos es del 100%. Las eras de secado no cuentan con una remoción teórica establecida, ya que se utilizan solo para la deshidratación de los lodos.

**Tabla 32. Remoción del proceso de coagulación y floculación**

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración en el afluente (mg/L)</b>	<b>Remoción teórica (%)</b>	<b>Remoción (mg/L)</b>	<b>Concentración en la que pasa a la siguiente etapa (mg/L)</b>
<b>Demanda bioquímica de oxígeno (<math>\text{DBO}_5</math>)</b>	356.67	70	249.669	107.001
<b>Demanda bioquímica de oxígeno (DQO)</b>	822.67	75	617.0025	205.6675
<b>Sólidos suspendidos (SS)</b>	50	75	37.5	12.5

Elaborado por: Mabel Zapata

**Tabla 33. Remoción del proceso de sedimentación**

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración en el afluente (mg/L)</b>	<b>Remoción teórica (%)</b>	<b>Remoción (mg/L)</b>	<b>Concentración en la que pasa a la siguiente etapa (mg/L)</b>
<b>Demanda bioquímica de oxígeno (<math>\text{DBO}_5</math>)</b>	107.001	35	37.45035	69.55065
<b>Demanda bioquímica de oxígeno (DQO)</b>	205.6675	30	61.70025	143.96725

<b>Sólidos suspendidos (SS)</b>	12.5	50	6.25	6.25
---------------------------------	------	----	------	------

Elaborado por: Mabel Zapata

**Tabla 34. Remoción de la filtración**

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración en el afluente (mg/L)</b>	<b>Remoción teórica (%)</b>	<b>Remoción (mg/L)</b>	<b>Concentración del efluente (mg/L)</b>
<b>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	69.55065	65	45.20792	24.3427
<b>Demanda bioquímica de oxígeno (DQO)</b>	143.96725	60	86.38035	57.5869
<b>Sólidos suspendidos (SS)</b>	6.25	60	2.5	2.5

Elaborado por: Mabel Zapata

**Tabla 35. Rendimiento total de la planta de tratamiento de aguas residuales**

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración en el afluente (mg/L)</b>	<b>Concentración del efluente (mg/L)</b>	<b>Rendimiento total de la PTAR (%)</b>	<b>Norma TULSMA Tabla 12</b>	<b>Cumplimiento de la Norma</b>
				<b>Límite Máximo Permisible (mg/L)</b>	
<b>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	356.67	24.3427	93.175	100	<b>CUMPLE</b>
<b>Demanda bioquímica de oxígeno (DQO)</b>	822.67	57.5869	93	250	<b>CUMPLE</b>
<b>Sólidos suspendidos (SS)</b>	50	2.5	95	100	<b>CUMPLE</b>

Elaborado por: Mabel Zapata

### 3.11 Costos para la implementación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual

**Tabla 36. Costos para la implementación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual.**

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Excavación y recolección del material	m3	130	\$ 4,00	\$ 520,00
Hormigón f'c 210 kg/cm2 y encofrado	m3	40	\$ 120,00	\$ 4.800,00
Hormigón replantillo f'c 180 kg/cm2	m3	3	\$ 70,00	\$ 210,00
Acero de refuerzo (e=12mm)	qq	20	\$ 50,00	\$ 1.000,00
Empedrado (e=10 cm)	m2	90	\$ 7,00	\$ 630,00
Enlucido Horizontal a lisado	m2	50	\$ 12,00	\$ 600,00
Enlucido Vertical paletado	m2	68	\$ 9,90	\$ 673,20
Punto de iluminación	pto.	3	\$ 26,15	\$ 78,45
Pintura de caucho interior/exterior		100	\$ 3,90	\$ 390,00
Tomacorrientes dobles	U	3	\$ 6,00	\$ 18,00
Tablero de control, dos breakers	U	1	\$ 52,97	\$ 52,97
Agitador de acero	U	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Tubería PVC-D 90mm	m	2	\$ 15,00	\$ 30,00
Tubería PVC-D 75mm	m	1	\$ 11,50	\$ 11,50
Codo PVC-D 90mm	U	4	\$ 3,30	\$ 13,20
Codo PVC-D 75mm	U	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Válvula de compuerta (90mm)	U	13	\$ 75,00	\$ 975,00
Válvula de compuerta (75mm)	U	2	\$ 75,00	\$ 150,00
FAFA				

Relleno de grava	m3	35	\$ 10,00	\$ 350,00
Lecho de secado				
Arena	m3	2	\$ 10,00	\$ 20,00
Grava	m3	2	\$ 10,00	\$ 20,00
Mano de obra				
Albañil		4	\$ 150,00	\$ 600,00
<b>Subtotal</b>				\$ 10.605,32
<b>Imprevistos (10%)</b>				\$ 1.060,53
<b>Total</b>				\$ 11.665,85

Elaborado por: Mabel Zapata

**Tabla 37. Costos de los químicos para el tratamiento del agua residual.**

Químicos	Cantidad Kg/día	Costo unitario	Costo día de trat.	Costo año
PAC	0,03	\$ 0,90	\$ 0,03	\$ 1,62
Chemfloc	0,015	\$ 8,00	\$ 0,12	\$ 7,20
Cal	0,01	\$ 0,50	\$ 0,01	\$ 0,30
Hipoclorito de calcio	0,54	\$ 4,00	\$ 2,16	\$ 129,60
<b>Subtotal</b>				\$ 138,72
<b>Imprevistos (10%)</b>				\$ 13,87
<b>Total</b>				\$ 152,59

Elaborado por: Mabel Zapata

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Recopilación de la información

El resultado del levantamiento de la línea base, se encuentra en el **Anexo 11**.

De manera general, se pudo recopilar la siguiente información del laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G:

El laboratorio se encuentra conformado por: el área de análisis físico- químico, el área de análisis microbiológicos, el área de reuniones, una oficina, una batería sanitaria y junto al laboratorio se encuentra una garita para la guardianía y una batería sanitaria adicional.

El horario de trabajo del laboratorio es de 8:00 a 12:00h y de 14:00 a 16:00h. Una persona es el encargado del laboratorio, del control de calidad del agua, una persona para el mantenimiento y dos personas para la guardianía con turnos rotativos.

En el laboratorio se realizan análisis físico-químicos y microbiológicos, se preparan soluciones para calibración de equipos y preparación de reactivos, se realizan pruebas de coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Los reactivos utilizados son descartados directamente en los lavabos, pasan por dos cajas de revisión y terminan en una fosa séptica ubicada a 12 metros del laboratorio.

Principalmente el laboratorio se dedica al control de calidad del agua potable de la panta “Chaquishca” y se realizan los análisis que exige la norma NTE-INEN 1108:20. Pero el laboratorio, también recibe muestras externas de aguas: potables, residuales domésticas, residuales industriales y de lixiviados. Estos análisis son esporádicos, pero en el momento que se descartan sus residuales por el lavabo, aumentan la carga contaminante de los vertidos.

Generalmente la mayor cantidad de actividades que se realizan son los lunes y cuando el laboratorio admite practicantes. Los días jueves y viernes se controlan los principales parámetros de la planta “Chaquishca” y se realizan actividades como elaboración y actualización de cardex, informes y oficios.



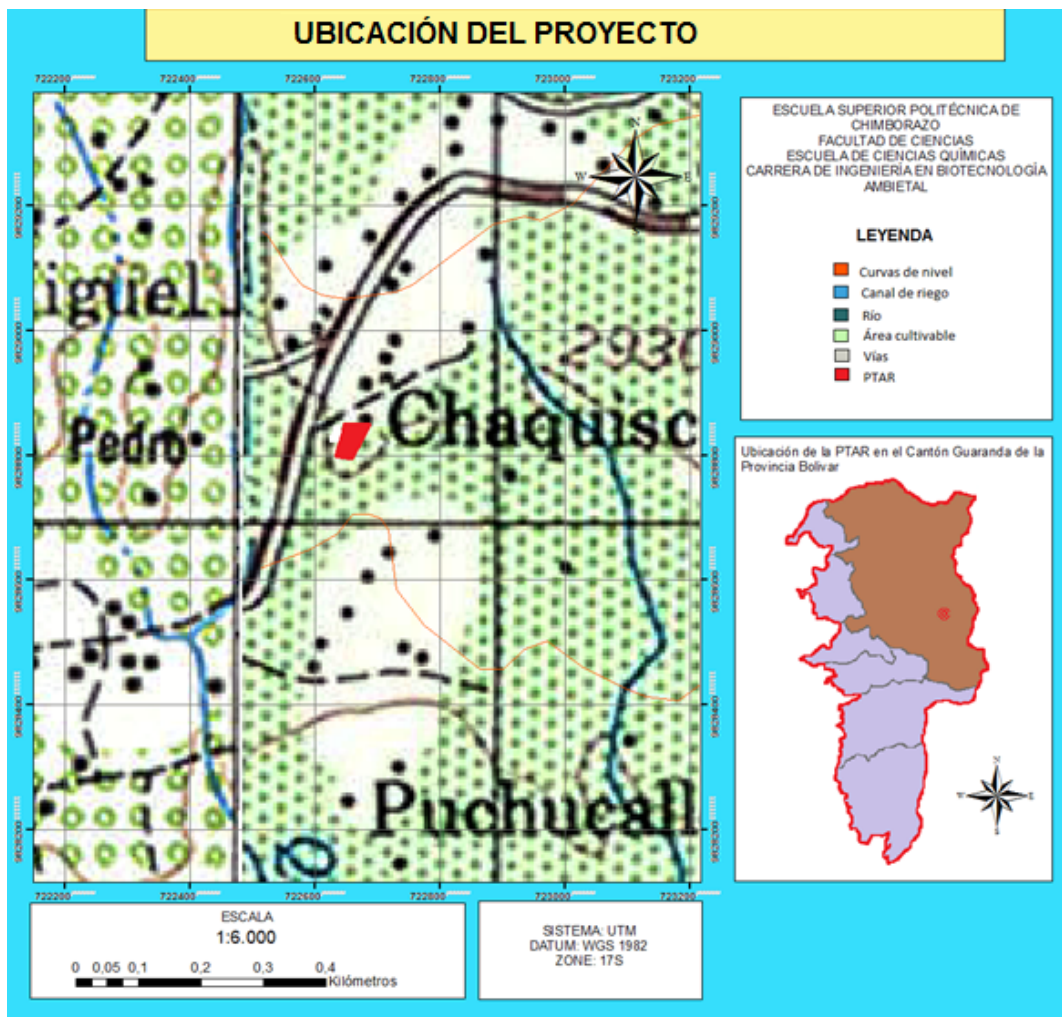
## 4.2 Topografía

Los datos resultantes de la georreferenciación, se encuentran en la **Tabla 38**. Las coordenadas que se indican, se encuentran el Sistema Geodésico Mundial WGS 84, en la proyección Universal Transversal de Mercator UTM, por sus siglas en ingles Universal Transversal Mercator. Para la zona 17S. Todo en conjunto denominado WGS84/UTM zona 17S.

**Tabla 38. Resultados de la Georreferenciación**

<b>Ubicación de la planta de tratamiento de agua residual</b>		
<b>Nº</b>	<b>Latitud (y)</b>	<b>Longitud (x)</b>
<b>1</b>	9827993	722522
<b>2</b>	9827998	722533
<b>3</b>	9827999	722541
<b>4</b>	9827976	722531
<b>Punto de muestreo</b>		
<b>M1</b>	9827972	722522
<b>Ubicación del laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G</b>		
<b>U1</b>	9827982	722535

Elaborado por: Mabel Zapata



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 1. Mapa de ubicación del proyecto**

En el **Gráfico 1**. Se muestra el mapa de ubicación del proyecto, en él se observa un polígono de color rojo, que representa el espacio físico disponible en la planta “Chaquishca” de la EP. EMAPA-G, con un perímetro de 66.2 m y un área de 242m<sup>2</sup>. Con color celeste, se representa el canal de riego, el color azul verdoso representa el flujo de un río, se puede distinguir una vía secundaria, bastante cerca del área de estudio, así como también áreas cultivables en su alrededor. El mapa se encuentra a una escala de 1:6000.

### 4.3 Medición del Caudal

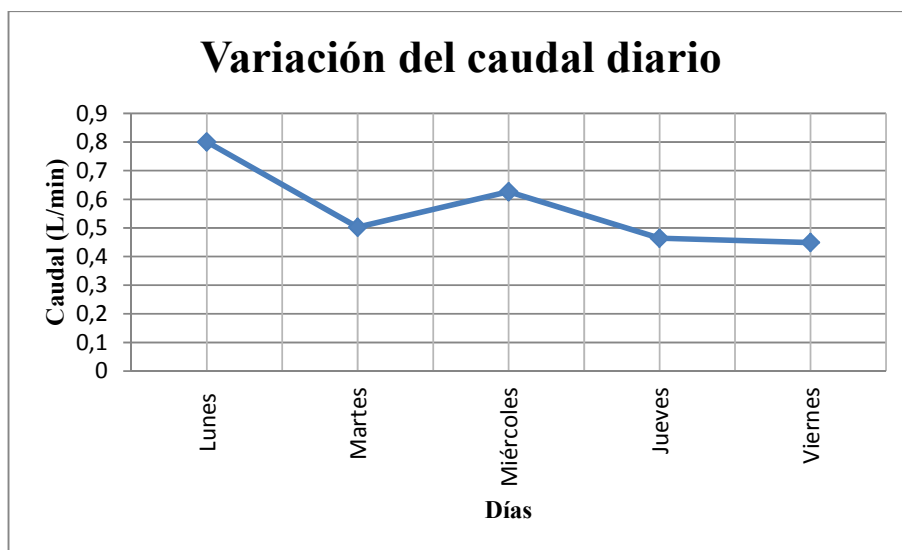
Los resultados de la medición del caudal para cada día, con su respectivo gráfico, se encuentran en el **Anexo 8**.

En la **Tabla 39**. Se muestra la tabla resumen, con los valores promedio del caudal obtenido en los cinco días de monitoreo.

**Tabla 39. Caudal promedio diario**

Días	Caudal (L/min)
Lunes	0.80
Martes	0.50
Miércoles	0.63
Jueves	0.46
Viernes	0.44

Elaborado por: Mabel Zapata



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 2. Variación del caudal diario**

En el **Gráfico 3**. Se muestra la variación del caudal effluente del laboratorio en la semana, donde el día lunes presenta el mayor caudal promedio, debido a que los lunes se realizan mayor cantidad de actividades en el laboratorio, como: el análisis de 33 parámetros para agua potable.

Además ese día se recibió muestras externas (aguas de río, aguas residuales de una microindustria) para análisis físico químicos y microbiológicos.

En el día martes el caudal disminuyó porque se realizó menor cantidad de análisis en el laboratorio. En el día miércoles el caudal incrementó por el análisis imprevisto de muestras externas. En el día jueves el caudal disminuyó porque se realizaron los análisis básicos de control para la planta “Chaquishca”. El día viernes presenta el menor caudal, porque este día solo se monitorea el cloro y se realizan otras actividades como cardex de reactivos y elaboración de informes y oficios. Cabe mencionar que las evacuaciones del sanitario son las que elevan significativamente el caudal, por lo tanto la cantidad de personas que asistan al laboratorio y utilicen el sanitario, influye en el aumento esporádico del caudal.

El mayor caudal fue de 0.80 L/min correspondiente al día lunes, el menor caudal fue de 0.44 L/min en el día viernes y en caudal promedio de la semana fue de 0.57 L/min.

#### 4.4 Muestreo y caracterización físico química y microbiológica del agua residual

En la **Tabla 40**. Se puede apreciar, que el volumen final de la muestra compuesta es de dos litros, constituida por los volúmenes individuales de cuatro muestras simples. Esta muestra es representativa y apta para la caracterización física, química y microbiológica, debido a que su medición fue en horas pico y con diferentes caudales.

**Tabla 40. Resultado del volumen individual para conformar la muestra compuesta N°1**

N° Muestra individual	Hora (h)	Caudal instantáneo Qi (L/min)	Caudal promedio Qp (L/min)	Volumen individual (L)
1	9:00:00	0.15	0.63	0.12
2	10:00:00	0.38	0.63	0.304
3	11:00:00	1.9	0.63	1.52
4	12:00:00	0.07	0.63	0.056
<b>Volumen final de la muestra compuesta</b>				<b>2</b>

Elaborado por: Mabel Zapata

Las tablas de resultados para las muestras compuestas N° 2, 3 y 4, se encuentran en el **Anexo 7**.

A continuación se muestra la tabla con los valores de los parámetros caracterizados:

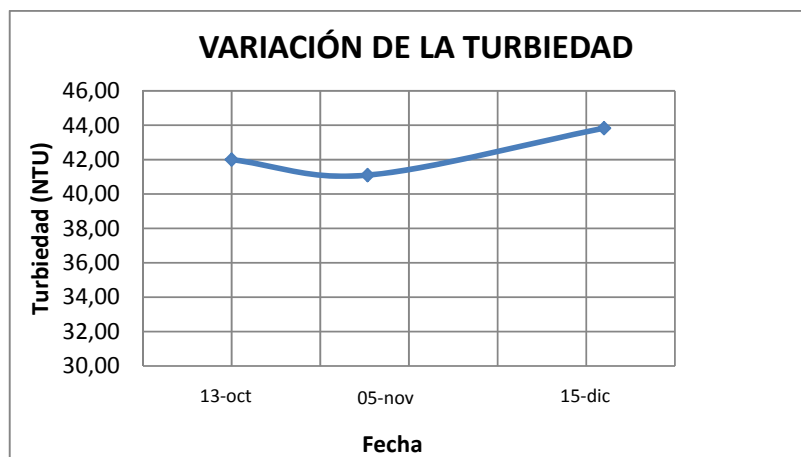
**Tabla 41. Resultados de análisis físico-químicos y microbiológica del agua residual**

PARAMETRO	UNIDAD	MONITOREO AGUA RESIDUAL			VALORES PROMEDIO	Norma TULSMA Tabla 12
		13-oct-2014	05-nov-2014	15-dic-2014		Límite Máximo Permissible
Color	UTC	10,00	20,00	15,00	15,00	Inap. 1/20
Turbiedad	NTU	42,00	41,10	43,83	42,31	----
pH	.....	7,08	6,35	6,87	6,77	5-9
Conductividad	uS/cm	1120,00	772,00	1140,00	1010,67	----
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	271,00	266,00	273,00	270,00	220
Sólidos Suspendidos	mg/L	<50	<50	<50	<50	100
Temperatura	° C	15,50	14,00	14,80	14,77	----
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,54	0,58	0,65	0,59	10
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,012	0,011	0,024	0,02	10
Fosfatos (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	9,08	9,01	9,42	9,17	10
Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	>4,32	>4,32	>4,32	>4,32	----
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1,15	1,38	1,50	1,34	1000
Fluoruros (F)	mg/L	5,80	5,71	6,79	6,10	5
Hierro Total (Fe)	mg/L	0,32	0,31	0,38	0,34	10
Manganeso (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	0,386	0,352	0,402	0,38	2
Cromo Hexavalente (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,006	0,0056	0,007	0,01	0,5
Cobre (Cu)	mg/L	0,35	0,31	0,37	0,34	1
Aluminio	mg/L	0,032	0,035	0,046	0,04	5
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	80,47	86,26	92,67	86,47	1000
Níquel (Ni)	mg/L	0,326	0,297	0,326	0,368	2

Cobalto (Co)	mg/L	1,506	1,530	1,627	1,55	0,2
Plomo (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	1,18	1,17	1,97	1,44	0,2
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	0,50	0,45	0,62	1,57	5
Plata (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	0,39	0,20	0,49	0,36	0,1
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,03	0,02	0,03	0,03	0,1
Bario (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2,60	2,40	3,26	2,75	2
Bromo (Br)	mg/L	0,46	0,46	0,51	0,48	----
Molibdeno (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	5,67	5,63	5,83	5,71	----
Cromo Total (Cr)	mg/L	0,072	0,060	0,120	0,084	----
Oxígeno Disuelto	mg/L	1,322	1,405	1,200	1,31	----
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	820,000	803,000	845,000	822,67	250
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	320,000	350,000	400,000	356,67	100
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	8,20E+02	9.10E+02	1,10E+03	943,33	Remoción> al 99%
Coliformes Totales	NMP/100 mL	6,70E+02	6,76E+02	6.90E+02	678,67	----

**Fuente:** Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G., LAB CESTTA.

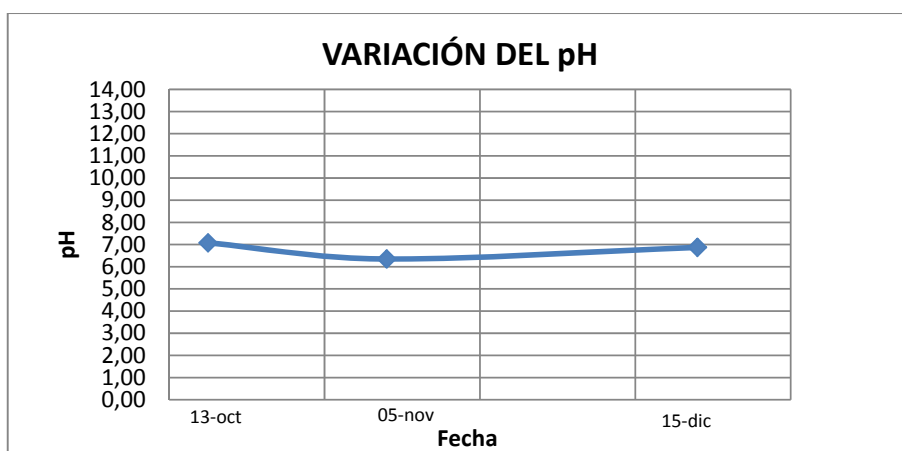
Posteriormente se muestran los gráficos de la variación de los parámetros caracterizados, en los días 13 de octubre, el 05 de noviembre y el 15 de diciembre del año 2014.



**Elaborado por:** Mabel Zapata

**Gráfico 3. Variación de la turbiedad**

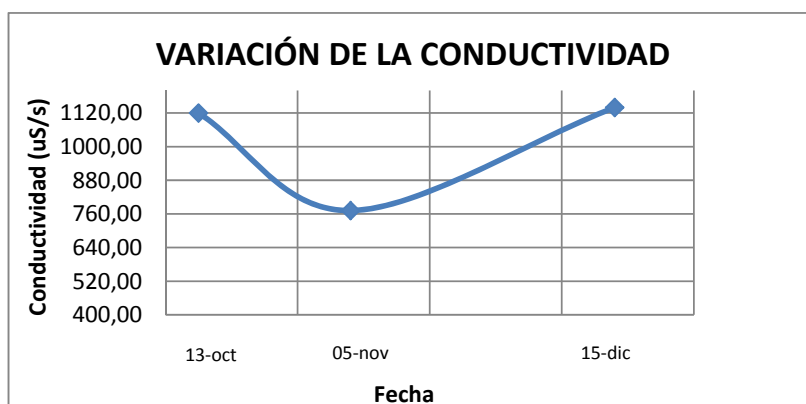
En el **Gráfico 4**. Se muestra la variación de la turbiedad del agua residual en los tres días de medición, para la primera se registró un valor de 42 NTU, luego disminuyó a 41,10 NTU, y en la última medición presentó la turbiedad más alta de 43,83 NTU. Debido a que en los tres días de medición, se realizaron gran cantidad de ensayos, pero para la tercera medición, además de los análisis de rutina, se realizaron análisis de aguas residuales de una industria textil, lo que produjo un incremento en la turbiedad.



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 4. Variación del pH**

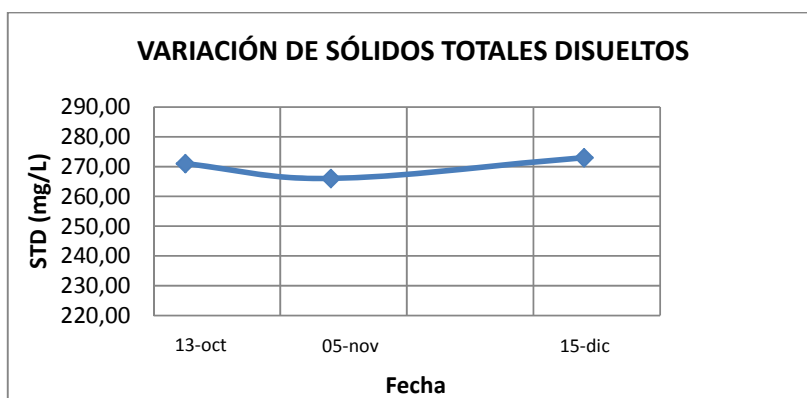
En el **Gráfico 5**. Se muestra la variación del pH del agua residual en los tres días de medición, para la primera se registró un valor de 7,08, luego disminuyó a 6,35, y en la última aumentó a un valor de 6,87. El pH se mantiene dentro de la neutralidad, esto se debe a que en los tres días de medición, se realizaron gran cantidad de análisis, donde se utilizan soluciones tampón y cantidades significativas de agua para el lavado del material con o sin detergente, estos factores de cierta forma equilibran el pH, impidiendo que este sea muy ácido.



Elaborado por: Mabel Zapata

### Gráfico 5. Variación de la conductividad

En el **Gráfico 6**. Se muestra la variación de la conductividad del agua residual en los tres días de medición, para la primera se registró un valor de 1120 uS, luego disminuyó a 772 uS, y en la última medición se registró la conductividad más alta de 1140 uS. Debido a que en los tres días de medición, el laboratorio tuvo considerable actividad, pero para la tercera medición, además de los análisis de rutina, analizó aguas residuales de una industria textil, esto produjo un aumento en la conductividad. Esto concuerda con la tendencia de la curva de la turbiedad, porque la conductividad está relacionada con esta y con la cantidad de sólidos presentes en el agua.

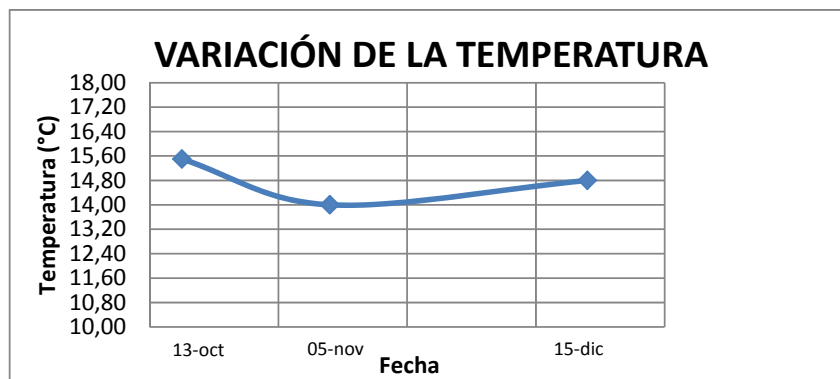


Elaborado por: Mabel Zapata

### Gráfico 6. Variación de los sólidos totales disueltos

En el **Gráfico 7**. Se muestra la variación de los sólidos totales disueltos del agua residual en los tres días de medición, para la primera se registró un valor de 273 mg/L, luego disminuyó a 266 mg/L, y en la última medición aumentó a 271 mg/L. Su presencia y variación se debió a la realización de ensayos en el laboratorio, lo que incorporó mayor cantidad de compuestos iónicos al agua residual, por lo tanto mayor concentración de sólidos disueltos.

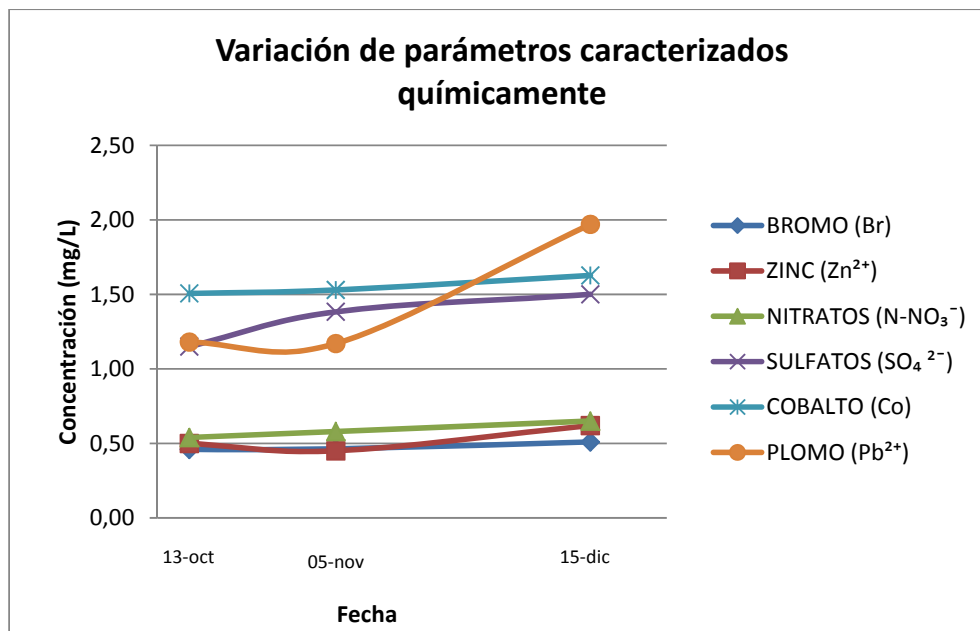




Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 7. Variación de la temperatura**

En el **Gráfico 8**. Se muestra la variación de la temperatura del agua residual en los tres días de medición, para la primera se registró un valor de 15,50 °C, en la segunda un valor de 14 °C, y en la última medición un valor de 14.80 °C. Debido a que la zona del estudio es en la sierra y en general presenta una temperatura fría y el laboratorio no descarga aguas a elevadas temperaturas, para el caso del auto clave y el baño maría, siempre se espera a que el agua se enfríe.



Elaborado por: Mabel Zapata

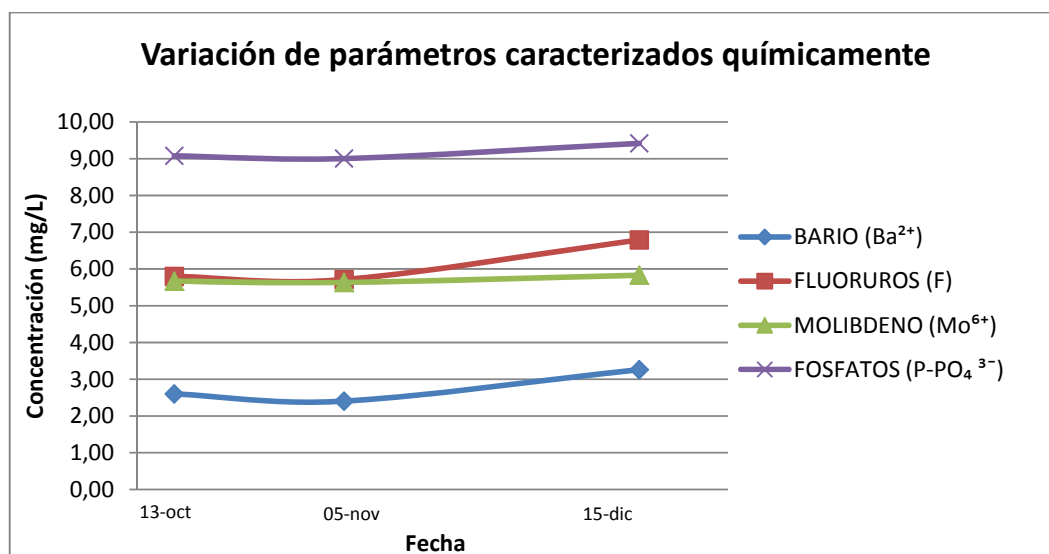
**Gráfico 8. Variación de parámetros caracterizados químicamente. Parte 1**

En el **Gráfico 9**. Se muestra la variación de varios parámetros, donde se puede apreciar que el zinc, los nitratos y el bromo sufren menos variaciones que los demás y se nota un incremento en el último día de medición.

Los sulfatos, el cobalto y el plomo tienen mayores concentraciones, pero la variación del plomo es notable, para la última medición aumenta considerablemente, esto se dio porque, en la tercera medición, además de los análisis de rutina, se realizaron análisis de aguas residuales de una industria textil, siendo el cobalto y el plomo utilizados como pigmentos colorantes para textiles.

El plomo 5 es utilizado como reactivo para la determinación de plomo, esto explica su presencia en el agua residual. La presencia de colorantes y descartado de papel higiénico por el inodoro produjo el incremento de los sulfatos.

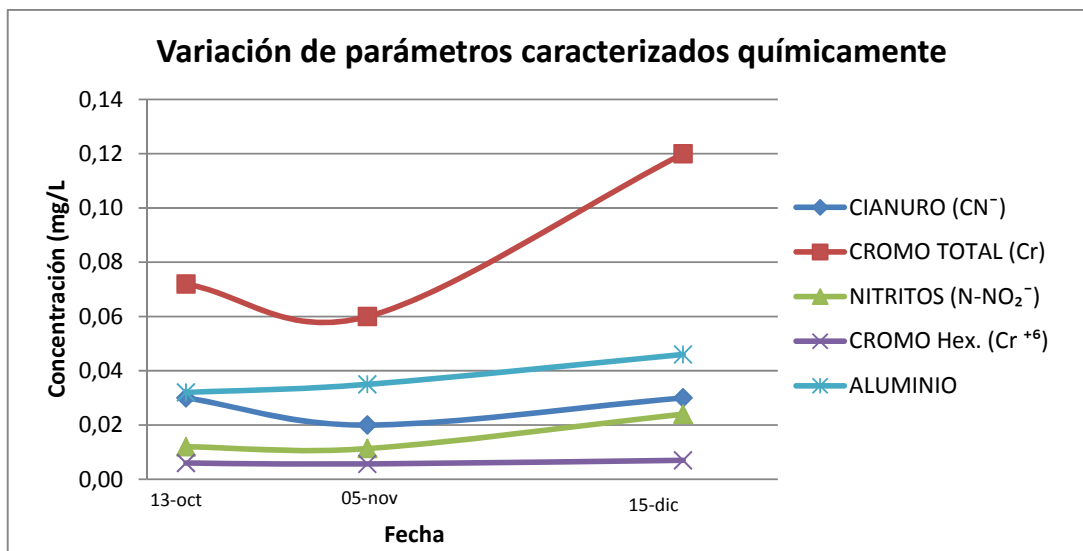
Cabe recalcar que el aumento de cobalto y plomo no es constante, es esporádico, dependiendo de los análisis que se realicen en el laboratorio y especialmente qué tipo de agua se analiza.



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 9. Variación de parámetros caracterizados químicamente. Parte 2**

En el **Gráfico 10**. Se muestra la variación de varios parámetros, donde se puede apreciar que el bario tiene una menor concentración que los demás parámetros, el molibdeno y los fluoruros se mantienen a concentraciones cercanas, y los fosfatos tienen una variación pequeña, pero se encuentran a mayor concentración y se nota un incremento en el último día de medición, para todos los parámetros. Debido a que en la tercera medición, además de los análisis de rutina, se realizaron análisis de aguas residuales de una industria textil, que contribuyeron al aumento de sus concentraciones. La concentración elevada de fosfatos y lo que produjo su incremento, se debe al uso de detergentes para lavado de material.



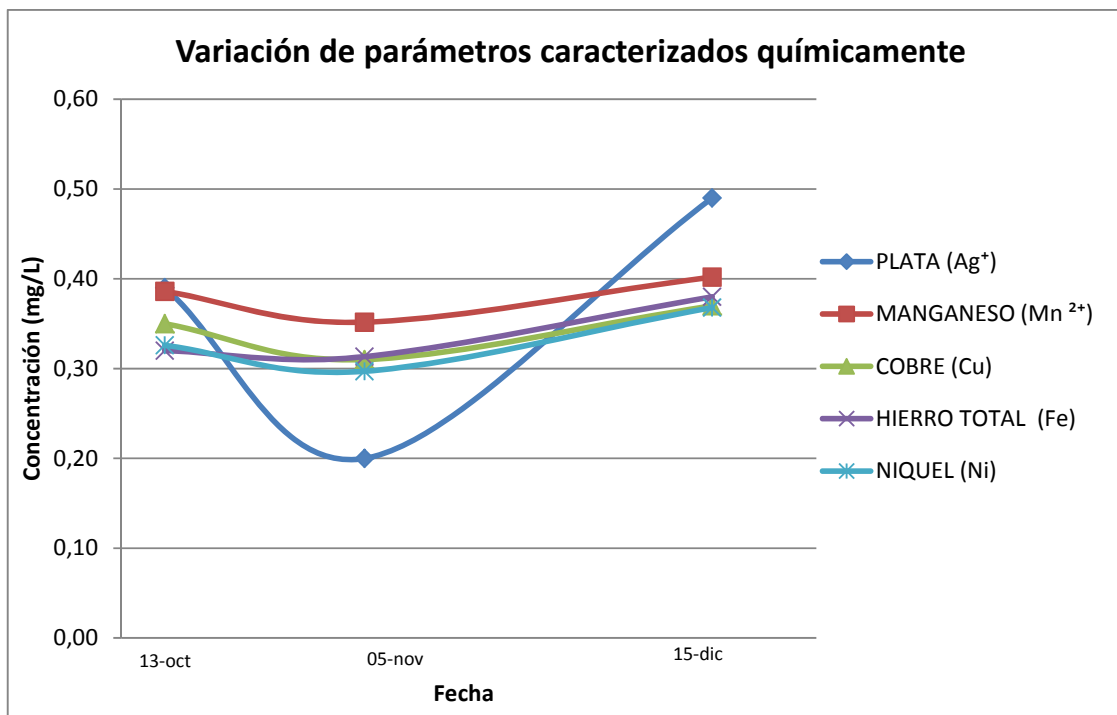
Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 10. Variación de parámetros caracterizados químicamente. Parte 3**

En el **Gráfico 11**. Se muestra la variación de varios parámetros, donde se puede apreciar que el cromo hexavalente se encuentra a una mínima concentración. Los nitritos, el cianuro y el aluminio, tienen una concentración baja, se nota un incremento en el último día de medición para todos los parámetros. El cromo total tiene una mayor concentración, y su variación es evidente, puesto que para la última medición aumenta, esto se dio porque, en la tercera medición, además de los análisis de rutina, se realizaron análisis de aguas residuales de una industria textil, siendo el cromo uno de sus contaminantes, utilizado como pigmento, al igual que el aluminio. A demás la elevada concentración de cromo se origina por el uso de reactivos derivados de este elemento como: ChromaVer 3, reactivo cromo 1 y reactivo cromo 2.

El aumento de nitritos se relaciona con la materia orgánica descargada por el sanitario.

Cabe recalcar que el aumento de cromo no es constante, es esporádico, dependiendo de los análisis que se realicen en el laboratorio.

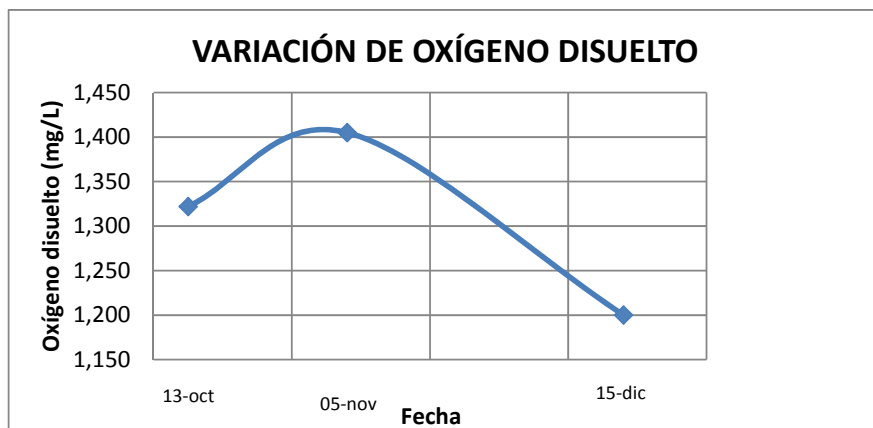


Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 11. Variación de parámetros caracterizados químicamente. Parte 4**

En el **Gráfico 12**. Se muestra la variación de varios parámetros, donde se puede apreciar que el níquel, el cobre, y el hierro total, tienen una concentración cercana, el manganeso tiene una concentración un poco más alta, pero para todos se nota un incremento en el último día de medición. La plata tiene una mayor concentración, y su variación es considerable, puesto que para la última medición aumenta, esto se dio porque, en la tercera medición, además de los análisis cotidianos del laboratorio, se realizaron análisis de aguas residuales de una industria textil, siendo la plata utilizado como pigmento colorante, además se emplearon reactivos derivados de plata para análisis en el fotómetro, todo esto provocó la presencia y variación de plata en el agua residual.

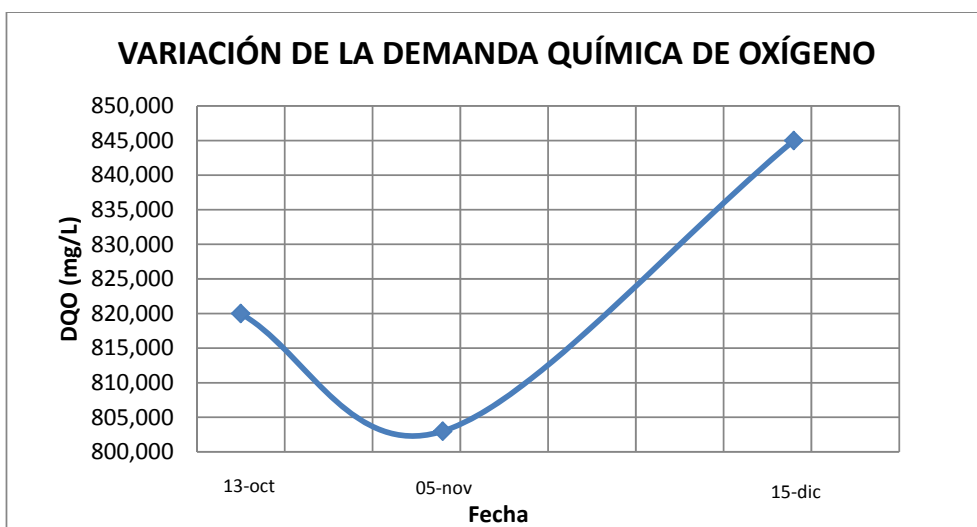
Cabe recalcar que el aumento de plata no es constante, es esporádico, dependiendo de los análisis que se realicen en el laboratorio.



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 12. Variación de oxígeno disuelto**

En el **Gráfico 13**. Se muestra la variación de oxígeno disuelto en el agua residual en los tres días de medición, para la primera se registró un valor de 1.32 mg/L, luego aumentó a 1.41 mg/L, y en la última medición disminuyó drásticamente a 1.2 mg/L, siendo este su menor valor. Debido a que en el último día, el laboratorio tuvo mayor actividad, además de los análisis de rutina se examinaron aguas residuales de una industria textil, además de la adición de reactivos metálicos utilizados para ensayos en el espectrofotómetro y en el fotómetro, esto sumado al uso del sanitario, originó en el efluente reacciones químicas y bioquímicas que consumieron oxígeno, disminuyendo la concentración de oxígeno disuelto.

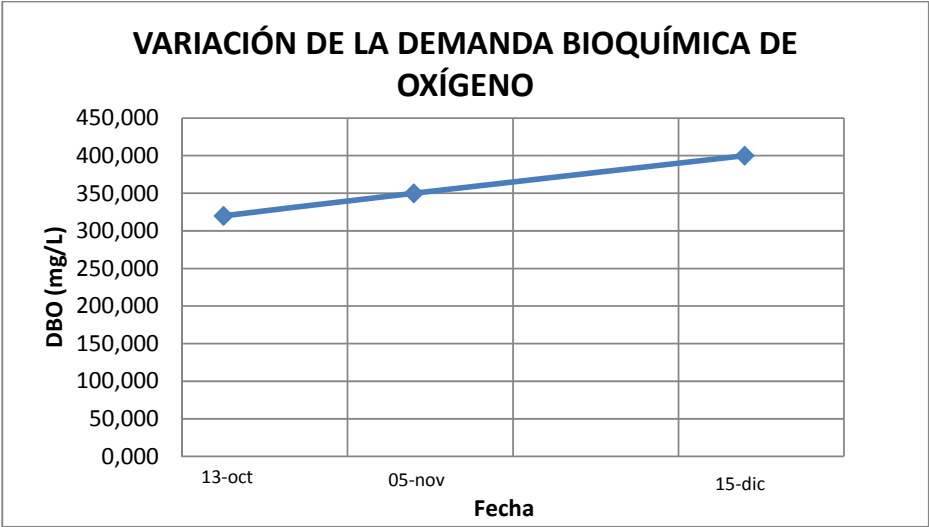


Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 13. Variación de DQO**

En el **Gráfico 14**. Se muestra la variación de DQO en el agua residual en los tres días de medición, para la primera se registró un valor de 820 mg/L, luego disminuyó a 803 mg/L, y en la última medición aumentó a 845 mg/L, siendo este su mayor valor.

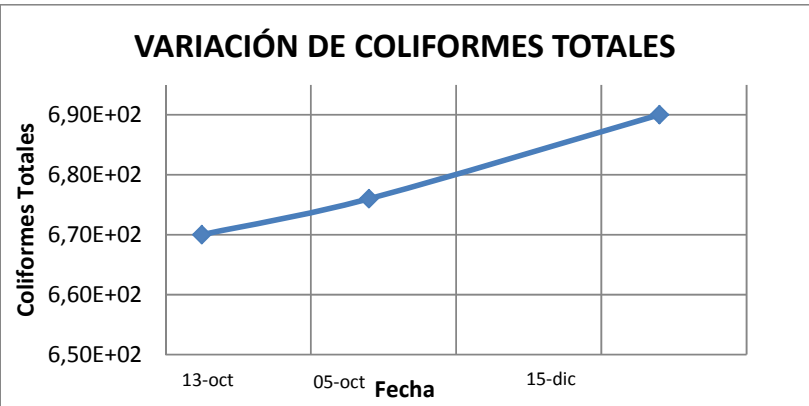
Debido a que el último día, en el laboratorio se realizó mayor cantidad de análisis, para lo que se emplearon reactivos metálicos utilizados en el espectrofotómetro y en el fotómetro, estos elementos originaron reacciones de oxidación, disminuyendo el oxígeno disuelto y produciendo el incremento de la DQO.



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 14. Variación de DBO**

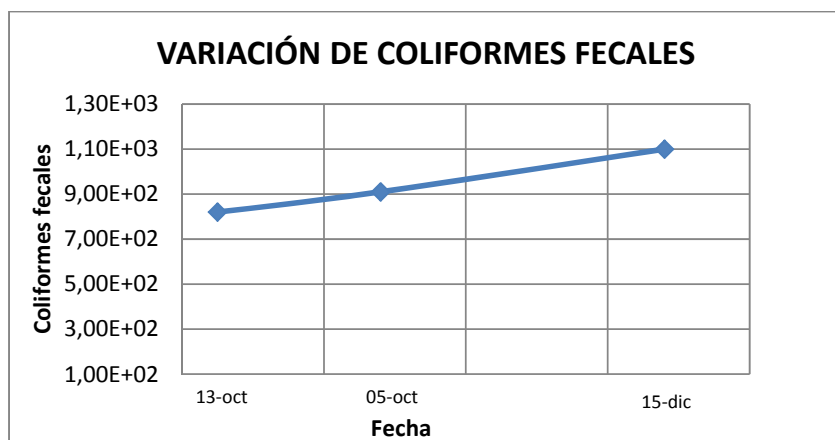
En el **Gráfico 15**. Se muestra la variación de DBO en el agua residual en los tres días de medición, para la primera se registró un valor de 320 mg/L, luego aumentó a 350 mg/L, y en la última medición aumentó a 400 mg/L, siendo este su mayor valor. El incremento de la DBO se relaciona con la materia orgánica producida en las evacuaciones del sanitario en el laboratorio, que con sus reacciones bioquímicas consumen oxígeno, esto produjo el aumento de la DBO.



Elaborado por: Mabel Zapata

### Gráfico 15. Variación de coliformes totales

En el **Gráfico 16**. Se muestra la variación de coliformes totales en el agua residual en los tres días de medición, para la primera se registró un valor de  $6.70 \times 10^2$  NMP/100 mL, luego aumentó a  $6.76 \times 10^2$  NMP/100 mL, y en la última medición aumentó a  $6.90 \times 10^2$  NMP/100 mL, siendo este su mayor valor. El incremento de los coliformes totales se relaciona con la materia orgánica producida en las evacuaciones del sanitario en el laboratorio, que fueron mayores en el último día de medición, esto produjo su aumento.



Elaborado por: Mabel Zapata

### Gráfico 16. Variación de coliformes fecales

En el **Gráfico 17**. Se muestra la variación de coliformes fecales en el agua residual en los tres días de medición, para la primera se registró un valor de  $8.20 \times 10^2$  NMP/100 mL, luego aumentó a  $9.10 \times 10^2$  NMP/100 mL, y en la última medición aumentó a  $1.10 \times 10^3$  NMP/100 mL, siendo este su mayor valor. El incremento de los coliformes fecales, al igual que el de los coliformes totales, se relaciona con la materia orgánica producida en las evacuaciones del sanitario en el laboratorio, que fueron mayores en la última medición.

A continuación se indica la comparación que se realizó de los valores promedio con el límite máximo permisible que exige la normativa, señalando los parámetros cumplen y los que no cumplen.

**Tabla 42. Comparación de los valores promedio de los parámetros con la normativa vigente.**

PARAMETRO	UNIDAD	VALORES PROMEDIO	Norma TULSMA Tabla 12	Cumplimiento
-----------	--------	------------------	--------------------------	--------------

			<b>Límite Máximo Permisible</b>	<b>de la Norma</b>
pH	.....	6,77	5-9	<b>CUMPLE</b>
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	270,00	220	<b>NO CUMPLE</b>
Sólidos Suspendidos	mg/L	<50	100	<b>CUMPLE</b>
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,59	10	<b>CUMPLE</b>
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,02	10	<b>CUMPLE</b>
Fosfatos (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	9,17	10	<b>CUMPLE</b>
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1,34	1000	<b>CUMPLE</b>
Fluoruros (F)	mg/L	6,10	5	<b>NO CUMPLE</b>
Hierro Total (Fe)	mg/L	0,34	10	<b>CUMPLE</b>
Manganeso (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	0,38	2	<b>CUMPLE</b>
Cromo (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,01	0,5	<b>CUMPLE</b>
Cobre (Cu)	mg/L	0,34	1	<b>CUMPLE</b>
Aluminio	mg/L	0,04	5	<b>CUMPLE</b>
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	86,47	1000	<b>CUMPLE</b>
Níquel (Ni)	mg/L	0,368	2	<b>CUMPLE</b>
Cobalto (Co)	mg/L	1,55	0,2	<b>NO CUMPLE</b>
Plomo (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	1,44	0,2	<b>NO CUMPLE</b>
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	1.57	5	<b>CUMPLE</b>
Plata (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	0,36	0,1	<b>NO CUMPLE</b>
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,03	0,1	<b>CUMPLE</b>
Bario (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2,75	2	<b>NO CUMPLE</b>
Demanda Química De Oxígeno	mg/L	822,67	250	<b>NO CUMPLE</b>
Demanda Bioquímica De Oxígeno (5 días)	mg/L	356,67	100	<b>NO CUMPLE</b>
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	943,33	Remoción> al 99%	<b>NO CUMPLE</b>

**Fuente:** Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G., LAB CESTTA.

En la **Tabla 42**. Se muestra los valores que cumplen con la norma, esto quiere decir que su concentración se encuentran por debajo del límite máximo permisible, son: manganeso, cromo,



cobre, aluminio, níquel, zinc, cianuro, nitratos, nitritos, fosfatos, hierro total, sólidos suspendidos, sulfatos y cloruros.

Los que no cumplen con la norma, que se encuentran por encima del límite máximo permisible son: fluoruros, cobalto, plomo, plata, bario, sólidos totales disueltos, DQO, y DBO. La presencia de estos elementos se originan por los residuos líquidos remanentes de los análisis químicos que se realizan en el laboratorio, especialmente en los que se utiliza reactivos metálicos.

#### 4.5 Prueba de coagulación, floculación y sedimentación

A continuación se muestran los resultados de la caracterización antes y después de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación:

**Tabla 43. Resultados de análisis físico-químicos antes y después de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación**

PARAMETROS	UNIDAD	PRUEBA DE JARRAS		Norma TULSMA Tabla 12
		ANTES	DESPUÉS	
		19-ene- 2015	19-ene- 2015	Límite Máximo Permissible
Color	UTC	110,00	15,00	Ina. en disln 1/20
Turbiedad	NTU	48,20	7,00	----
pH	.....	7,10	8,00	5-9
Conductividad	uS/cm	298	673,00	----
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	262,2	156,00	220
Temperatura	° C	15,33	16,03	----
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,73	<0,01	10
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,042	0,005	10
Fosfatos (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10,60	3,80	10
Nitrógeno Amoniacal. (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	4,32	4,32	----
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1,50	1,33	1000
Fluoruros (F)	mg/L	5,713	<1	5
Hierro Total (Fe)	mg/L	0,31	0,02	10
Manganeso (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	0,352	0,180	2
Cromo (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,006	0,005	0,5
Cobre (Cu)	mg/L	0,36	0,15	1

Aluminio	mg/L	0,04	0,080	5
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	96,200	30,60	1000
Níquel (Ni)	mg/L	0,390	0,050	2
Cobalto (Co)	mg/L	1,53	0,130	0,2
Plomo (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	1,17	<0,01	0,2
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	0,65	<0,10	5
Plata (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	0,52	<0,10	0,1
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,03	<0,02	0,1
Bario (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2,86	1,79	2
Bromo (Br)	mg/L	0,46	0,36	----
Molibdeno (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	5,63	4,20	----
Cromo Total (Cr)	mg/L	0,097	0,027	----
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg/L	839,74	87.42	----
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	35,57	42.83	----

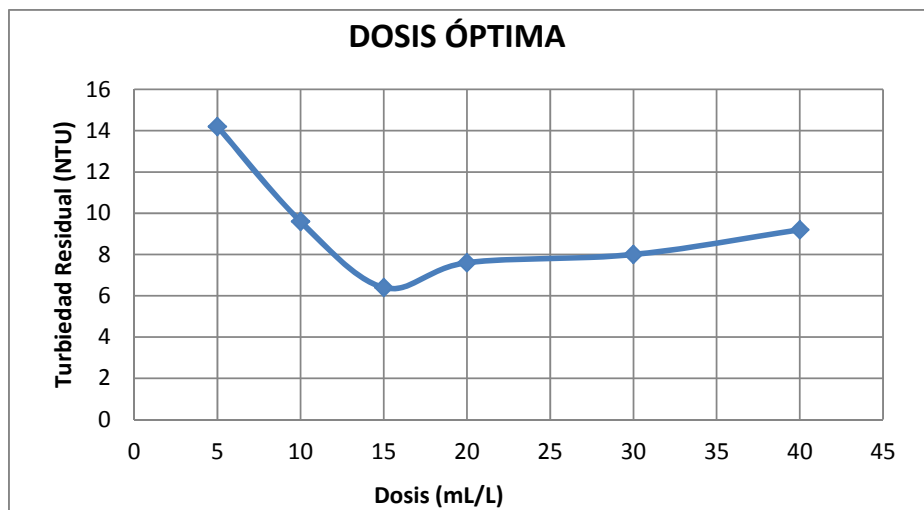
**Fuente:** Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G

A continuación se muestran los resultados de la prueba para la dosis óptima, donde NTU, significa la turbiedad residual:

**Tabla 44. Resultados de la dosificación óptima en la prueba de jarras**

Jarra	Dosis (mL/L)	Turbiedad Residual (NTU)
	PAC-P25A y Aux.C (Chemfloc C-25)	
1	5	14,2
2	10	9,6
3	15	6,4
4	20	7,6
5	30	8,0
6	40	9,2

**Elaborado por:** Mabel Zapata



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 17. Parámetros para la dosificación, dosis óptima**

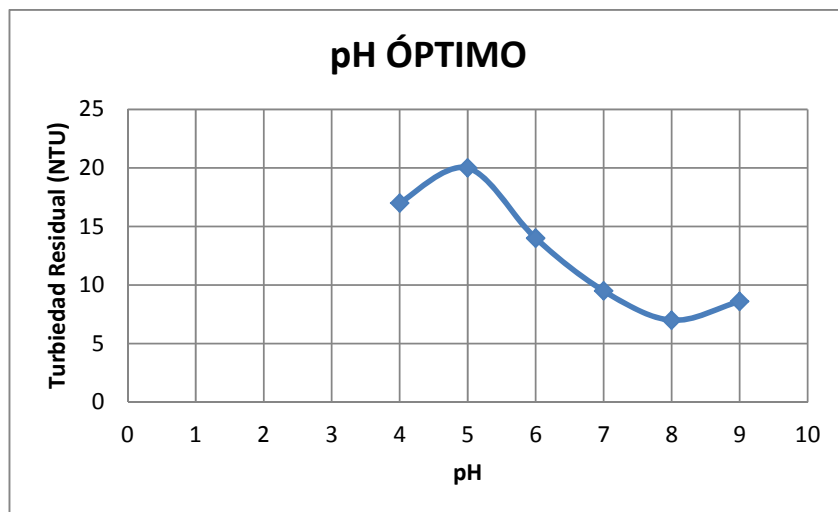
En el **Gráfico 18**. Se muestra que la dosis óptima es el punto más bajo de la curva, con el que se obtiene la menor turbiedad, la dosis óptima de coagulante (PAC y Aux. C.) es de 15 mL/L para obtener una turbiedad de 6.4 NTU.

A continuación se muestran los resultados de la prueba para el pH óptimo, donde NTU, significa la turbiedad residual:

**Tabla 45. Resultados del pH óptimo en la prueba de jarras**

Jarra	pH	Dosis (mL/L)		Turbiedad Residual (NTU)
		PAC-P25A y Aux.C (Chemfloc C-25)	Cal T-30	
1	4	15	0,5	17
2	5	15	1	20
3	6	15	3	14
4	7	15	5	9,5
5	8	15	10	7,0
6	9	15	15	8,6

Elaborado por: Mabel Zapata



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 18. Parámetros para la dosificación, pH óptimo**

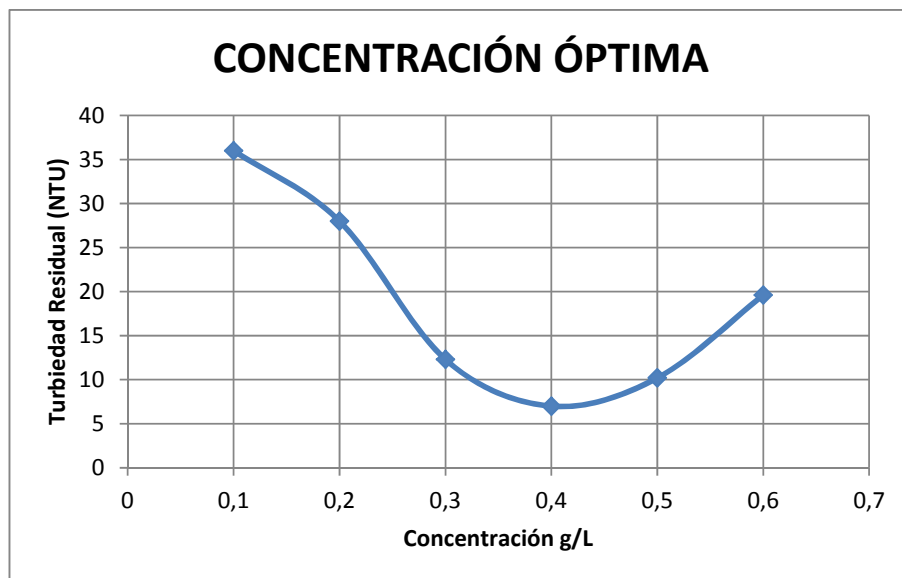
En el **Gráfico 19**. Se muestra que el pH óptimo para el tratamiento de coagulación es el punto más bajo de la curva, con el que se obtiene la menor turbiedad, es decir que el pH óptimo es 8 con el que se obtuvo una turbiedad de 7 NTU (debido a la adición de cal para la regulación del pH)

A continuación se muestran los resultados de la prueba para la concentración óptima, donde NTU, significa la turbiedad residual.

**Tabla 46. Resultados de la concentración óptima en la prueba de jarras**

Jarra	Dosis	pH	Concentración g/L	Turbiedad Residual (NTU)
1	15	8	0.1	36
2	15	8	0.2	28
3	15	8	0.3	12,3
4	15	8	0.4	7
5	15	8	0.5	10,2
6	15	8	0.6	19,6

Elaborado por: Mabel Zapata



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 19. Parámetros para la dosificación, concentración óptima**

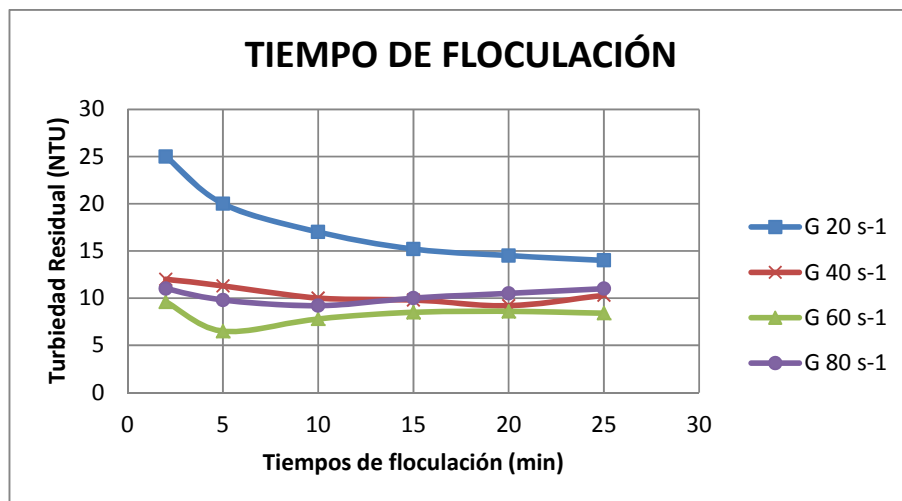
En el **Gráfico 20**. Se muestra que la concentración óptima es el punto más bajo de la curva, con la que se obtiene la menor turbiedad, es decir que la concentración óptima de coagulante PAC-P25A es de 0.4 g/L (se utilizó el Auxiliar Chemfloc C-25 a una concentración de 0.2 g/L, por recomendación técnica), esto dio una turbiedad residual de 7 NTU. Las primeras concentraciones al 0.1, 0.2 y 0.3 g/L disminuyen la turbiedad, pero no en la medida que se requiere y las concentraciones al 0.5 y 0.6 g/L saturan el agua provocando el aumento de la turbiedad.

A continuación se muestran los resultados de la prueba para el tiempo y gradiente de velocidad óptimos de la floculación:

**Tabla 47. Resultados del tiempo y gradiente óptimos de floculación en la prueba de jarras**

rpm	G (s <sup>-1</sup> )	Tiempo de floculación					Turbiedad Residual (NTU)
		2'	5'	10'	15'	20'	
20	20	25	20	17	15,2	14,5	
35	40	12	11,3	10	9,8	9,2	
45	60	9,6	6,5	7,8	8,5	8	
60	80	11	9,8	9,2	10	10,5	
rpm: revoluciones por minuto							
G: gradiente de velocidad							

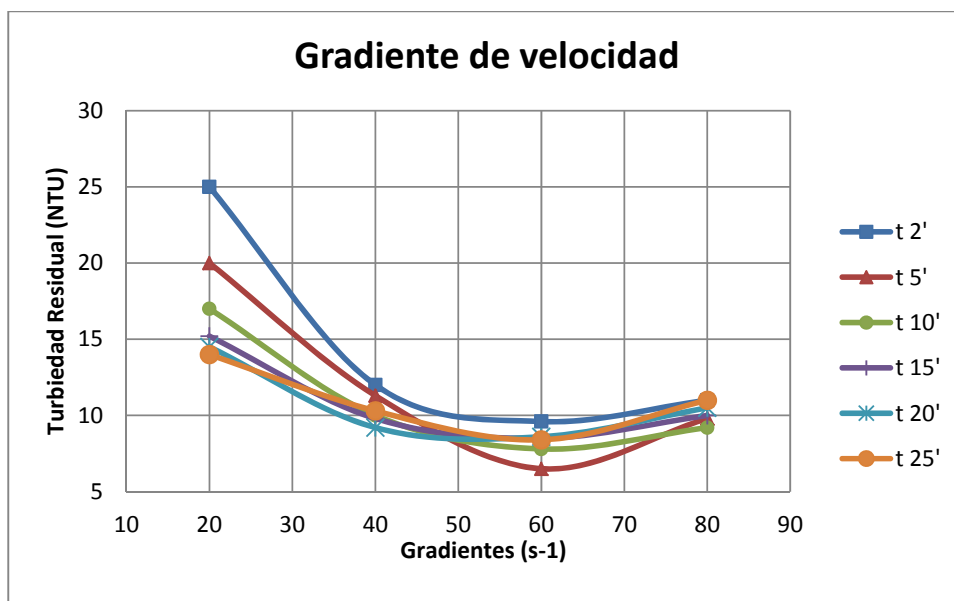
Elaborado por: Mabel Zapata



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 20. Parámetros para la floculación, tiempo de floculación**

En el **Gráfico 21**. Se muestran cuatro curvas, correspondientes a las gradientes de velocidad con las que se trabajó en función a las rpm del equipo de prueba de jarras. Cada gradiente se mantuvo por los tiempos de 2, 5, 10, 15, y 20 minutos, el tiempo en el que se obtuvo la menor turbiedad de 6.5 fue a los 5 minutos con la gradiente de  $60 \text{ s}^{-1}$ , correspondiente a 45 rpm. A una gradiente pequeña como la de  $20 \text{ s}^{-1}$ , se da un proceso coagulación donde la turbiedad va disminuyendo pero las dificultades son: la mayor cantidad de tiempo y también el consumo energético. Las demás gradientes no proporcionan las condiciones para la formación óptima del floculo.

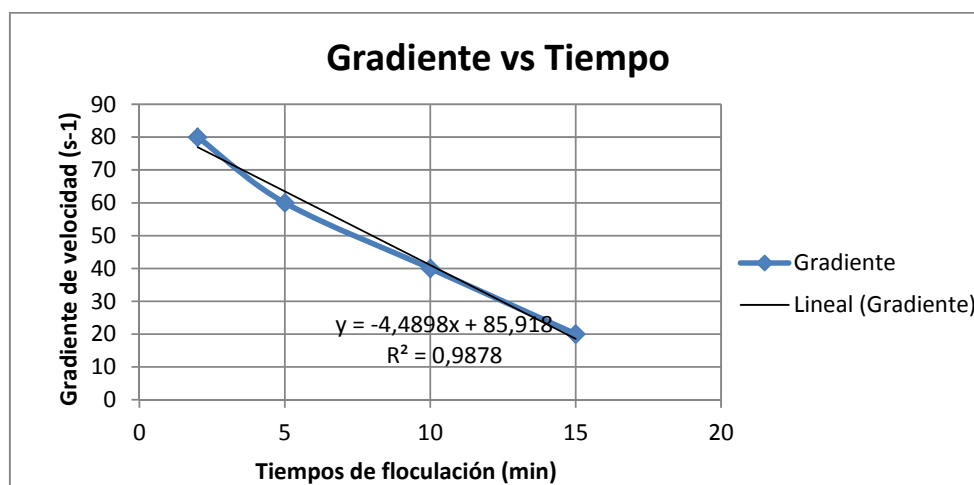


Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 21. Parámetros para la floculación, gradiente de velocidad.**

En el **Gráfico 22**. Se muestran seis curvas que corresponden a los tiempos empleados para las gradientes de velocidad con las que se trabajó, se confirma el resultado del **Gráfico 21** la menor turbiedad de 6,5 NTU se obtiene con la gradiente de  $60\text{s}^{-1}$  en 5 minutos (valores óptimos).

Mediante el grafico se puede apreciar que al aumento de la gradiente de velocidad, después de  $60\text{s}^{-1}$  incrementa la turbiedad, porque los flóculos comienzan desestabilizarse y a desintegrarse, generando aumento de la turbiedad.



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 22. Parámetros para la floculación, gradiente vs tiempo.**

En el **Gráfico 23**. Se muestra que para cada valor de gradiente se obtuvo un tiempo de floculación con el cual se produjo un valor mínimo de turbiedad residual, en el gráfico se observa los valores ajustados y se aprecia la línea de tendencia, que decrece.

A continuación se muestran los resultados de la prueba para la sedimentación:

**Tabla 48. Resultados de la sedimentación en la prueba de jarras**

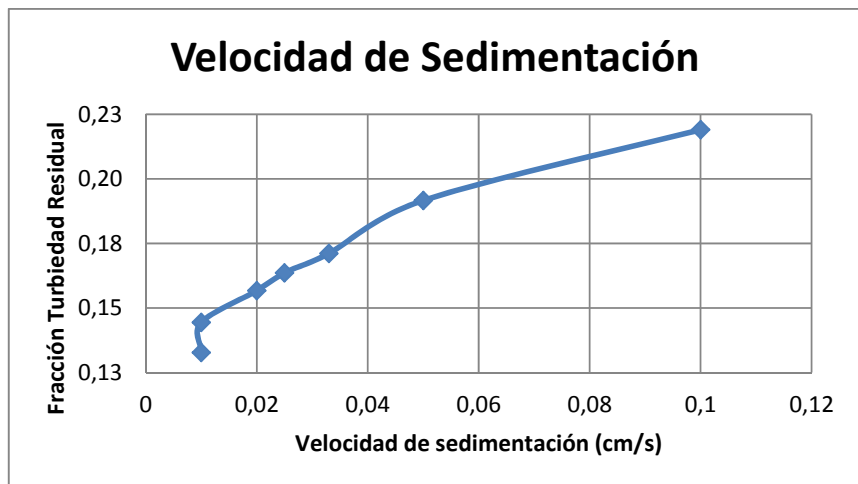
Tiempo	Velocidad de sed. (vs)(cm/s)	Turbiedad					Tf/To
		To	Tf Jarra 1°	Tf Jarra 2°	Tf Jarra 3°	Tf Prom	
30"	0,1	48,7	11	10	11	10,67	0,22
1'	0,05	48,7	9,6	9	9,4	9,33	0,19
2'	0,033	48,7	8,5	8,2	8,3	8,33	0,17
3'	0,025	48,7	8	7,9	8	7,97	0,16
4'	0,02	48,7	7,8	7,5	7,6	7,63	0,16
5'	0,01	48,7	7,3	6,6	7,2	7,03	0,14
10'	0,01	48,7	6,7	6,4	6,3	6,47	0,13

To: Turbiedad inicial.

<b>Tf Jarra:</b> Turbiedad final para cada jarra
<b>Tf Prom:</b> Turbiedad final promedio.
<b>Tf/To:</b> Turbiedad residual.

Elaborado por: Mabel Zapata

En la **Tabla 48**. El primer tiempo se encuentra en segundos y el resto en minutos, la velocidad de sedimentación, se obtuvo como resultado del cálculo de la altura del agua libre de sedimento en el vaso de precipitación dividido por el tiempo de sedimentación.



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 23. Parámetro para la sedimentación, velocidad de sedimentación**

En el **Gráfico 24**. Se muestra que la velocidad de sedimentación a la que se obtiene la menor fracción de turbiedad residuales de 0.01 cm/s. En el gráfico se observa que a mayor velocidad la fracción de la turbiedad también es mayor, esto quiere decir que mientras el tiempo de sedimentación sea menor, la turbiedad aumentará.

A continuación se muestra la tabla resumen de los resultados óptimos de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación:

**Tabla 49. Resumen de resultados de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación.**

Parámetro	Unidad	Valor
Dosificación Óptima / PAC-P25A y Aux. C. (Chemfloc C-25)	mL/L	15
pH Óptimo		8
Concentración Óptima/ PAC-P25A y Aux. C. (Chemfloc C-25)	%	4
Tiempo Óptimo de Floculación	min	5



Gradiente de velocidad Óptima	s <sup>-1</sup>	60
Tiempo Óptimo de Sedimentación	min	10

Elaborado por: Mabel Zapata

Posteriormente se indica los resultados del rendimiento de remoción de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación:

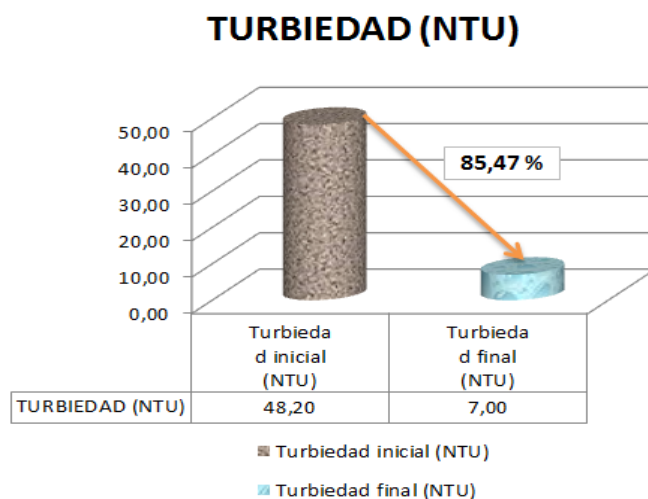
**Tabla 50. Resultados del rendimiento de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación.**

Prueba de coagulación, floculación y sedimentación				
Parámetro	Concentración inicial (C1) (mg/L)	Concentración final (C2) (mg/L)	Remoción (mg/L)	Rendimiento total (%)
Turbiedad	48.20	7.00	41.20	85.48
Fosfatos (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	10.60	3.80	6.80	64.15
Fluoruros (F)	5.713	1.00	4.71	82.50
Cobalto (Co)	1.53	0.130	1.40	91.50
Plomo (Pb <sup>2+</sup> )	1.17	0.01	1.16	99.15
Demanda química de Oxígeno (DQO)	839.74	87.42	752.32	89.58
Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	356.57	42.80	313.74	87.98
Conductividad	298	673.00	-----	-----
Sólidos Totales Disueltos	262.2	156.00	106.20	40.50
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0.73	0.01	0.72	98.63
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0.042	0.005	0.04	88.10
Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	>4.32	>4.32	-----	-----
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	1.50	1.33	0.17	11.33
Hierro Total (Fe)	0.31	0.02	0.29	93.62

Manganeso (Mn <sup>2+</sup> )	0,352	0,180	0,17	48,82
Cromo (Cr <sup>+6</sup> )	0,006	0,005	0,00	11,76
Cobre (Cu)	0,36	0,15	0,21	58,33
Aluminio	0,04	0,080	-----	-----
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	96,200	30,60	65,60	68,19
Níquel (Ni)	0,390	0,050	0,34	87,18
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	0,65	0,10	0,55	84,62
Plata (Ag <sup>+</sup> )	0,52	0,10	0,42	80,77
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	0,03	0,02	0,01	25,00
Bromo (Br)	0,46	0,36	0,10	22,30
Molibdeno (Mo <sup>6+</sup> )	5,63	4,20	1,43	25,44
Cromo Total (Cr)	0,097	0,027	0,07	72,26

Elaborado por: Mabel Zapata

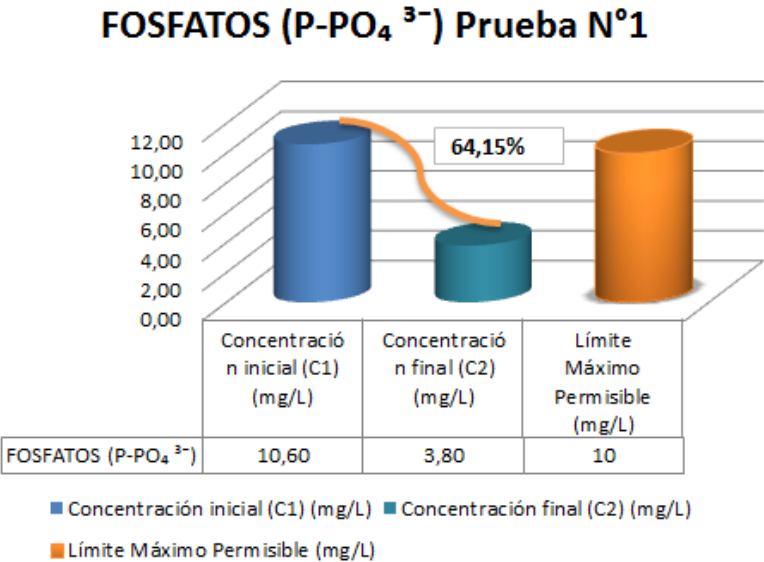
Para una mejor comprensión de la remoción, a continuación se indican los gráficos que representan la remoción e indican su correspondiente porcentaje, se muestra la turbiedad y los parámetros que no cumplieron con la norma.



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 24. Rendimiento total para la remoción de turbiedad**

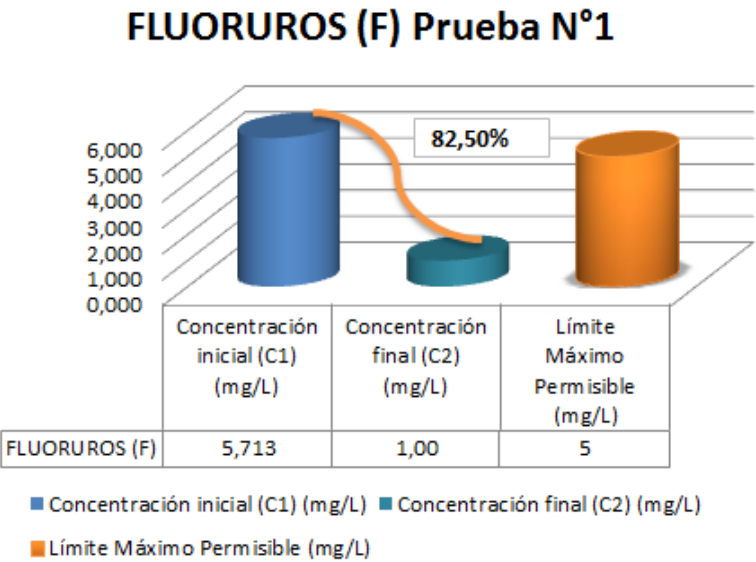
En el **Grafico 25**. Se muestra la turbiedad antes del tratamiento con un valor de 48.20 NTU, y después del tratamiento con PAC-P25A, Chemfloc C-25 y Cal T-30, se reduce a 7 NTU. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de la turbiedad, es del 85.47%.



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 25. Rendimiento total para la remoción de fosfatos**

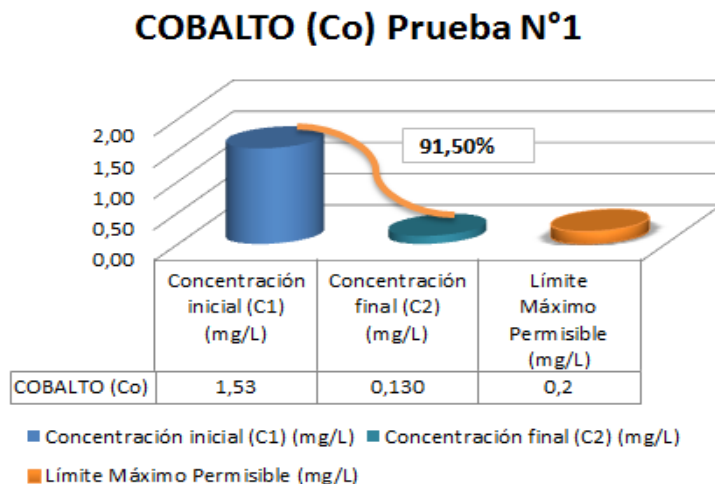
En el **Grafico 26**. Se muestra la concentración de fosfatos antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 10.60 mg/L, y después del tratamiento con PAC-P25A, Chemfloc C-25 y Cal T-30, se reduce a 3.80 mg/L, cumpliendo con la normativa. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de fosfatos, es del 64.15%.



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 26. Rendimiento total para la remoción de fluoruros**

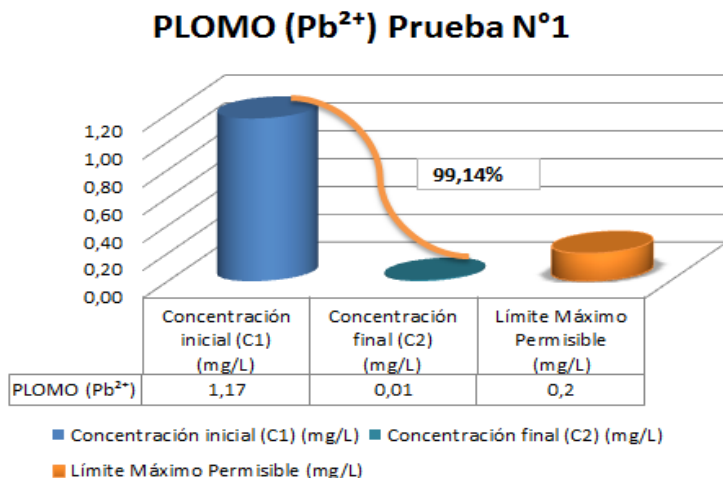
En el **Grafico 27**. Se muestra la concentración de fluoruros antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 5.713 mg/L, y después del tratamiento con PAC-P25A, Chemfloc C-25 y Cal T-30, se reduce a 1mg/L, cumpliendo con la normativa. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de fluoruros, es del 82.50%.



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 27. Rendimiento total para la remoción de cobalto**

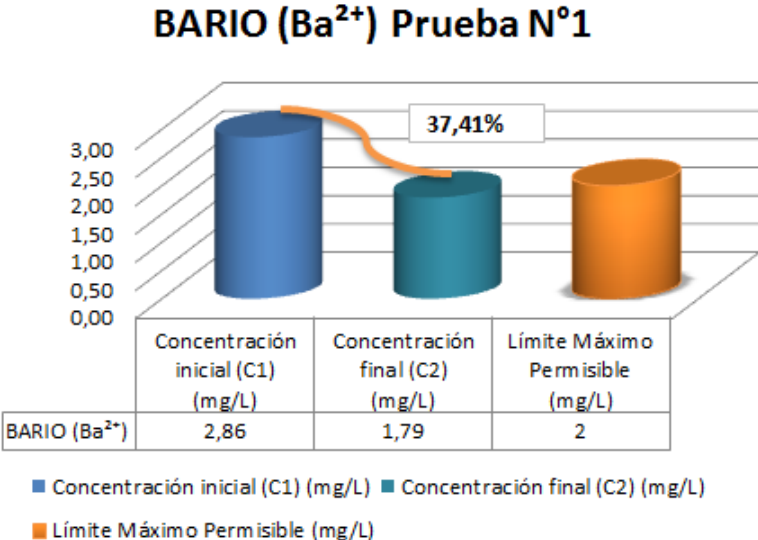
En el **Grafico 28**. Se muestra la concentración de cobalto antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 1.53 mg/L, y después del tratamiento con PAC-P25A, Chemfloc C-25 y Cal T-30, se reduce a 0.13 mg/L, cumpliendo con la normativa. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de cobalto, es del 91.5 %.



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 28. Rendimiento total para la remoción de plomo**

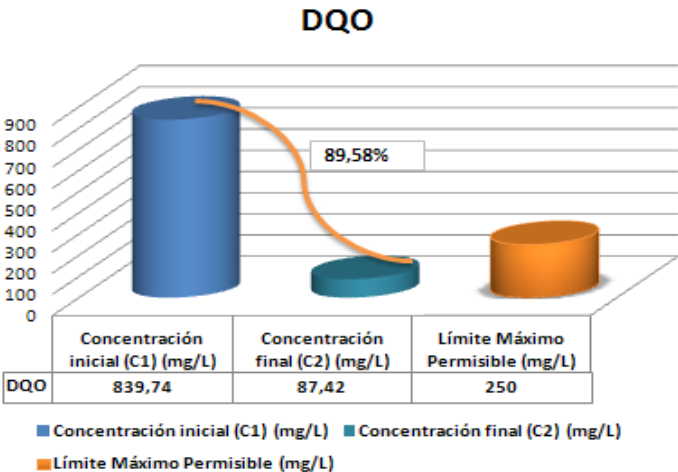
En el **Grafico 29**. Se muestra la concentración de plomo antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 1.17 mg/L, y después del tratamiento con PAC-P25A, Chemfloc C-25 y Cal T-30, se reduce a 0.01 mg/L, cumpliendo con la normativa. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de plomo, es del 99.14 %.



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 29. Rendimiento total para la remoción de bario**

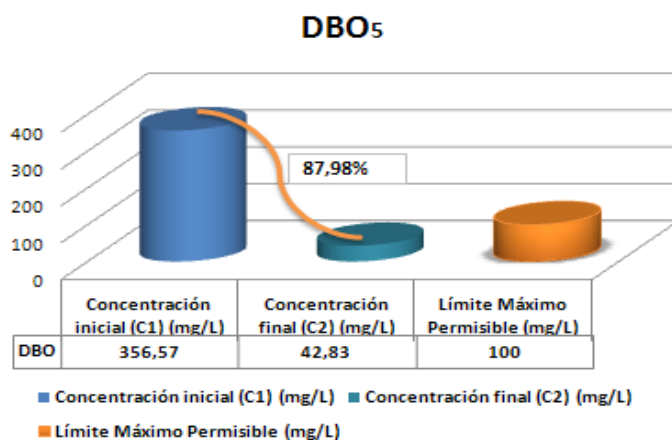
En el **Grafico 30**. Se muestra la concentración de bario antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 2.86 mg/L, y después del tratamiento con PAC-P25A, Chemfloc C-25 y Cal T-30, se reduce a 1.79 mg/L, cumpliendo con la normativa. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de bario, es del 37.41 %.



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 30. Rendimiento total para la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO)**

En el **Gráfico 31**. Se muestra la concentración de la demanda química de oxígeno (DQO) antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 839.74 mg/L, y después del tratamiento con PAC-P25A, Chemfloc C-25 y Cal T-30, se reduce a 87.47 mg/L, cumpliendo con la normativa. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de DQO, es del 89.58 %.



Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 31. Rendimiento total para la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

En el **Gráfico 32**. Se muestra la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 335.57 mg/L, y después del tratamiento con PAC-P25A, Chemfloc C-25 y Cal T-30, se reduce a 42.83 mg/L, cumpliendo con la normativa. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de DBO, es del 87.98%.

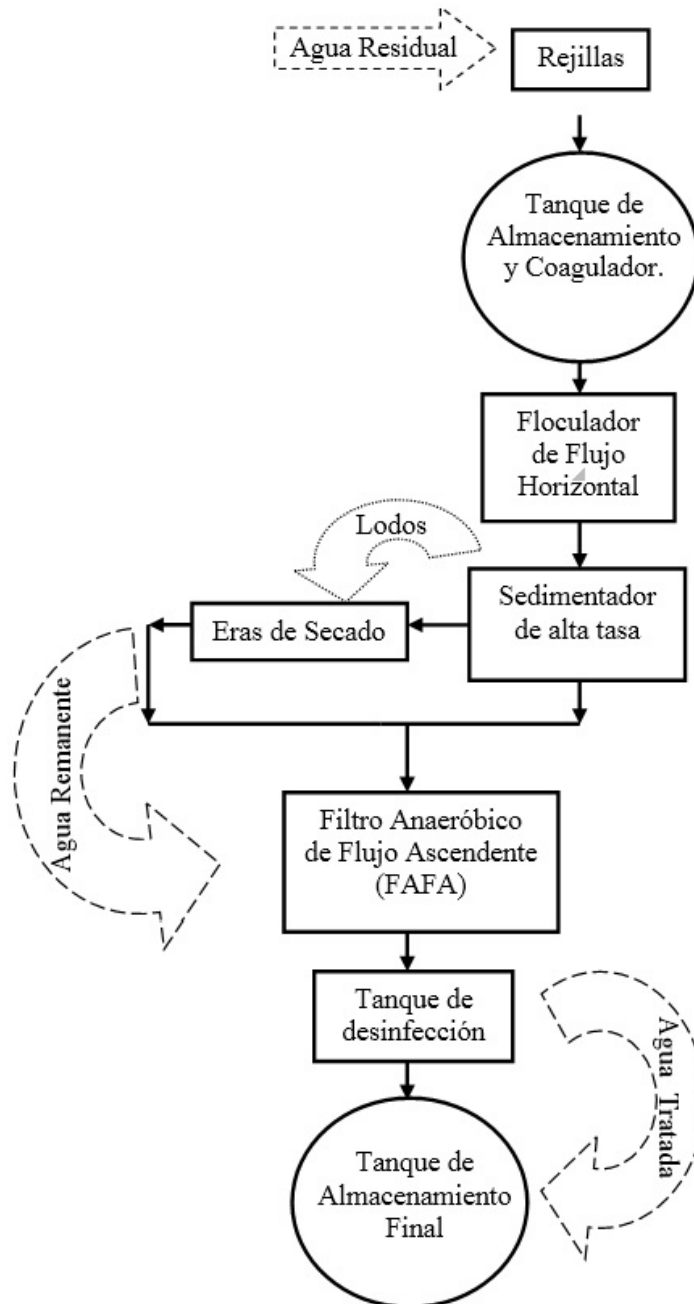
#### 4.6 Propuesta de diseño

Para la propuesta de diseño, mediante el análisis e interpretación de los resultados de la caracterización física, química y microbiológica, y su comparación con la normativa, se consideró la temperatura promedio de 13.7°C (estación meteorológica M030 San Simón) y el pH neutro, facilita el tratamiento físico – químico.

Uno de los parámetros con la concentración más alta, es la demanda química de oxígeno (DQO), esta denota contaminación química, por lo tanto el tratamiento químico es el más acertado.

Para reducir la concentración de los siguientes parámetros fuera de norma: fluoruros, cobalto, plomo, plata, bario, sólidos totales disueltos, DBO y DQO, es recomendable el tratamiento de coagulación-floculación, complementado con la sedimentación y filtración. Con esto también se reduce la turbidez y el agua se clarifica. Para la eliminación de coliformes totales y fecales, se debe desinfectar el agua, después del tratamiento físico y químico.

Después de la recopilación de la información, del análisis y discusión del caudal (aumento del 30% por el crecimiento del caudal en el tiempo), de las características físicas químicas y microbiológicas del agua residual y de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación, se llegó a la conclusión que los procesos más adecuados para constituir la PTAR son los mencionados en la **Figura 6**.



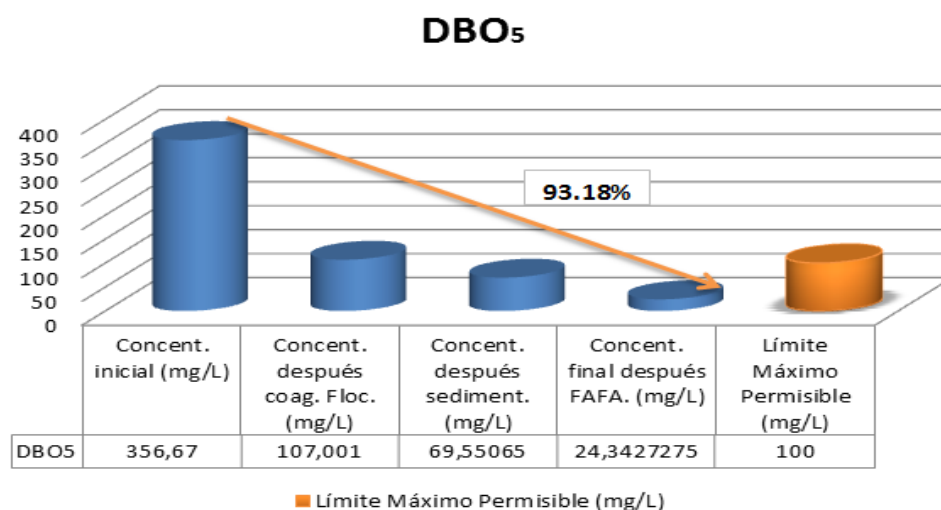
Elaborado por: Mabel Zapata  
**Figura 6. Propuesta de Diseño**

En la **Figura 6**. Se muestra, que el tratamiento inicia con el paso del agua residual por un sistema de rejillas, instalada en una caja de revisión, estas se van a encargar de retener los sólidos de tamaños medianos y grandes. Luego el agua residual pasa a un tanque de almacenamiento, donde después de alcanzar un volumen adecuado comienza el proceso de coagulación, por el adicionamiento de coagulante y el movimiento del agitador de seis paletas; este proceso va a permitir que un porcentaje de sustancias indeseables se unan formando pequeñas partículas.

Posteriormente el agua residual pasa al floculador de flujo horizontal, donde las partículas van a formar “flocs” o flóculos. Después pasa al sedimentador de alta tasa, donde los contaminantes se precipitan y forman lodos. Para continuar con la remoción de contaminantes, el agua residual para al filtro anaeróbico de flujo ascendente, que mejora la calidad del agua y se clarifica, seguidamente pasa a un tanque de desinfección para anular organismos patógenos, finalmente pasa a un tanque de almacenamiento para su posterior reutilización para limpieza de áreas externas o puede ser descargada a un cuerpo receptor con seguridad. En los procesos se generan lodos, estos pasan a las eras de secado para ser deshidratados y extraídos, el agua remanente de este proceso se une nuevamente a la línea de tratamiento.

A continuación se muestran los gráficos del rendimiento total de la PTAR propuesta, para la remoción de los principales contaminantes, se consideraron a la demanda química de oxígeno (DQO) y a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

(No se graficó para el rendimiento de sólidos suspendidos, porque este ya cumple con la normativa)



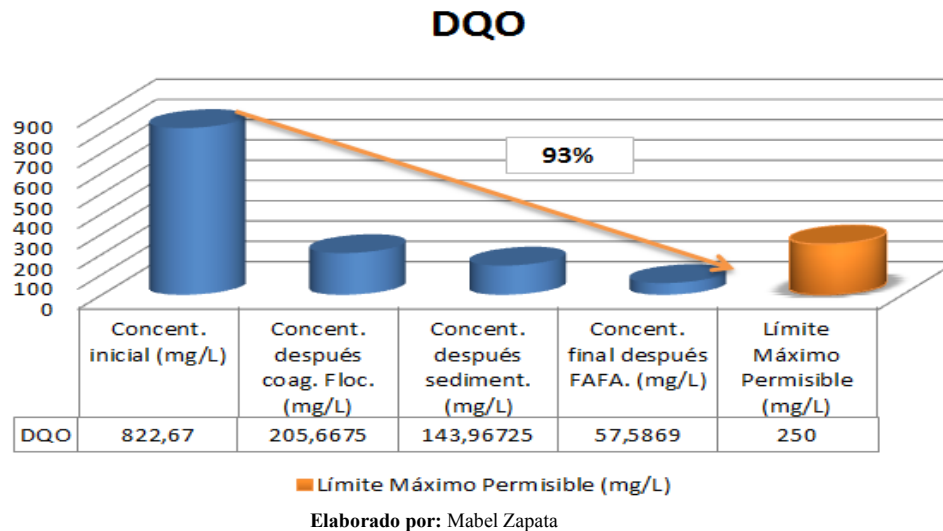
Elaborado por: Mabel Zapata

**Gráfico 32. Rendimiento total de la planta propuesta para la remoción de DBO<sub>5</sub>**



En el **Gráfico 33**. Se muestra la concentración de DBO<sub>5</sub> antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 356.67 mg/L, después de pasar por el proceso de coagulación y floculación, el agua sale con una concentración de 107 mg/L, una remoción considerable, seguidamente pasa por el proceso de sedimentación y sale con una concentración de 69.55 mg/L, en este punto el agua ya cumple con la normativa.

Con el fin de mejorar la calidad del agua tratada, esta pasa por el proceso de filtración y sale con una concentración final de 24.34 mg/L, representando un rendimiento total de la PTAR para la remoción de DBO<sub>5</sub> del 93.18%, un porcentaje aceptable.



**Gráfico 33. Rendimiento total de la planta propuesta para la remoción de DQO**

En el **Gráfico 34**. Se muestra la concentración de DQO antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 822.67 mg/L, después de pasar por el proceso de coagulación y floculación, el agua sale con una concentración de 205.67 mg/L, una remoción considerable y el agua ya cumple con la normativa para este parámetro, pero con el fin de mejorar la calidad del agua tratada, esta pasa por el proceso de sedimentación y sale con una concentración de 143.96 mg/L, seguidamente pasa por el proceso de filtración y sale con una concentración final de 57.5 mg/L, representando un rendimiento total de la PTAR para la remoción de DQO del 93%, un porcentaje aceptable.

#### 4.7 Elaboración de planos

Se generaron los planos para cada componente de la PTAR en vista planta, con sus respectivos cortes y el plano con la PTAR unida. Se encuentran en el **Anexo 15**.

#### 4.8 Valoración e identificación de impactos ambientales

Mediante la matriz (**Anexo 12.**) se pudo determinar 56 afectaciones positivas y 129 afectaciones negativas, para la identificación de los impactos ambientales generados por la ejecución del proyecto. La agregación de impactos o también denominado el índice global de impacto, tuvo un valor de 220, representando un impacto positivo muy alto, según la **Tabla 18**. El nivel de significancia se determinó mediante la **Ecuación 75** y se obtuvo un valor de:  $Ca = 1.09$

De acuerdo con la **Tabla 19**, el resultado, se encuentra en un rango de 0 a 2.5, representando un nivel de significancia bajo.

En la **Tabla 51**. Se muestran los valores resumidos de las afectaciones y agregación de impactos por cada factor ambiental, donde se evidencia que el aire, es el factor ambiental más afectado negativamente, con un valor de agregación de impactos de: -72 en olores, -124 en polvo y -133 en ruido. La calidad del aire disminuye, principalmente debido al ruido generado por la maquinaria pesada, en el momento de la construcción, en esta etapa también se genera material particulado, además, en la etapa de operación y mantenimiento, el agua residual y los lodos producen olores.

También se considera de importancia, el factor ambiental con mayor cantidad de afectaciones positivas, que fue el socio económico, con un valor de agregación de impactos de: 406 en empleo, 177 en servicios básicos y 254 en el bienestar de la población. La generación de empleo y el mejoramiento de la calidad ambiental, contribuyen al bienestar de la población en el área de influencia.

Las demás afectaciones positivas y negativas, para los factores ambientales restantes, son en menor grado.

En la **Tabla 52**. Se muestran los valores resumidos de las afectaciones y agregación de impactos por cada acción humana, se evidencia que en la etapa de construcción es donde más agregación de impactos negativos existen, específicamente en la limpieza y desbroce con un valor de -121, en la excavación del suelo, un valor de -105, el compactado del terreno, con un valor de -99, generación de residuos peligrosos, con un valor de 92, ruido y vibraciones de la maquinaria pesada, un valor de -74. Estas acciones son las más nocivas para el ambiente.

También se consideran de importancia los efectos positivos de las acciones desarrolladas en el proyecto, el mayor grado se da en la etapa de operación y mantenimiento, con un valor de agregación de impactos de: 154 para el vertido del agua tratada, 392 para el desarrollo de la zona.

Como conclusión se determinó que la construcción de la PTAR, tiene un impacto positivo para el factor socioeconómico, generando fuentes de trabajo, además de bienestar ambiental de los pobladores de la zona, por otro lado la ejecución del proyecto, especialmente en la etapa de construcción genera impactos negativos, sobre todo en el aire. En general el impacto ambiental presentó un nivel de significancia bajo, por lo que no se requiere de medidas correctoras al momento de realizar el proyecto con responsabilidad, con el paso del tiempo se corregirán los impactos negativos de menor valor.

**Tabla 51. Valores de afectaciones y agregación de impactos por cada factor ambiental**

FACTORES AMBIENTALES				AFECTACIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	AGRAGACIÓN DE IMPACTOS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	SUELO	a. Calidad del Suelo	Textura	0	9	-43
		b. Contaminación del Suelo	Uso del suelo	1	13	-95
	AIRE	a. Calidad del Aire	Gases (Olores)	0	13	-72
			Material Particulado (Polvo)	0	8	-124
		b. Contaminación del Aire	Ruido	0	9	-133
			Proliferación de Vectores	0	7	-15
			AGUA	a. Calidad del Agua	Uso del Agua	3
	b. Contaminación del Agua	Recarga Cuerpo Receptor		2	0	84
FACTORES BIÓTICOS	FLORA	a. Vegetación Primaria	Árboles	1	5	-33
		b. Vegetación Secundaria	Arbustos - Hierbas	0	5	-23
		FAUNA	a. Migración de Especies	Aves	0	5
	Animales Terrestres			0	7	-74
	Animales Acuáticos			2	3	51
	FACTORES CULTURALES	SOCIO - ECONÓMICO	a. Usos del Terreno	Paisaje	2	10
Agricultura				2	1	30
Ganadería				2	1	30
b. Humanos			Empleo	16	0	406
			Servicios Básicos	9	0	177
			Bienestar de la Población	14	0	254
			Incomodidad en la Población	0	18	-118
			Salud y seguridad laboral	2	14	-63
			SUMATORIA			

Elaborado por: Mabel Zapata.

**Tabla 52. Valoración de afectaciones y agregación de impactos por cada acción humana.**

ACCIONES		AFECTACIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	AGRAGACIÓN DE IMPACTOS
<b>ETAPA DE CONSTRUCCIÓN</b>	Limpieza y desbroce	1	12	-121
	Replanteo y nivelación	1	6	-32
	Excavación del suelo natural	1	11	-105
	Compactado del terreno	2	11	-99
	Desalojo del material	2	8	-9
	Transporte de materiales de construcción	1	8	-46
	Ruido y vibraciones de la maquinaria pesada	0	5	-74
	Construcción de obras de concreto	3	11	-36
	Generación de Residuos Sólidos Comunes	1	7	-28
	Generación de Residuos Sólidos Peligroso	1	12	-92
<b>ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	Cambio del Paisaje	4	6	-17
	Comprensión e importancia del mantenimiento del sistema	1	0	9
	Limpieza de rejillas	3	6	51
	Mantenimiento del tanque de coagulación y sedimentación	3	5	46
	Mantenimiento del floculador de flujo horizontal	3	5	46
	Mantenimiento del sedimentador de alta tasa	3	5	46
	Mantenimiento del filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)	3	5	46
	Extracción, secado y transporte de lodos	3	4	46
	Vertido del agua tratada al cuerpo receptor	4	2	154
	Reutilización del agua tratada	4	0	43
	Desarrollo de la zona	12	0	392
	<b>SUMATORIA</b>	56	129	220

Elaborado por: Mabel Zapata.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- El caudal de las aguas residuales provenientes del Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G, es muy variable y de flujo pequeño, durante el día en la jornada de trabajo de 8:00 a 18:00 horas, en la semana el caudal varía, el mayor fue de 0.80 L/min correspondiente al día lunes, el menor fue de 0.44 L/min en el día viernes y en caudal promedio de la semana fue de 0.57 L/min.
- Los resultados de los análisis de la caracterización física, química y microbiológica del agua residual, se compararon con los límites máximos permisibles de la tabla 12, del anexo 1, del libro VI, de la normativa TULSMA. Los parámetros que cumplieron con la norma fueron los siguientes, con sus respectivos valores: pH con 6.7, sólidos suspendidos con <50 mg/L, nitratos con 0.59 mg/L, nitritos con 0.02 mg/L, fosfatos con 9.02 mg/L, sulfatos con 1.34 mg/L, hierro total con 0.34 mg/L, manganeso con 0.38 mg/L, cromo con 0.01 mg/L, cobre con 0.34 mg/L, aluminio con 0.04 mg/L, cloruros con 86.47 mg/L, níquel con 0.33 mg/L, zinc con 0.39 mg/L y cianuro con 0.03. Los parámetros que no cumplieron con la norma fueron los siguientes con su respectivo valor: sólidos totales disueltos con 270 mg/L, fluoruros con 6.10 mg/L, cobalto con 1.55 mg/L, plomo con 1.44 mg/L, plata con 0.36 mg/L, bario con 2.65 mg/L, demanda química de oxígeno (DQO) con 822.67 mg/L, demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) con 356.67 mg/L y coliformes fecales con  $1.27 \times 10^3$  NMP/100 mL. También determinó la caracterización de la turbiedad con un valor de 42.31 NTU, pese a no constar como un límite permisible, conocer su valor fue de importancia para la investigación.
- Mediante la prueba de coagulación, floculación y sedimentación se obtuvieron parámetros fundamentales para el diseño del coagulador de paletas y para la dosificación de químicos, se obtuvieron los siguientes valores óptimos: para la

dosificación de Poli Cloruro de Aluminio y el Auxiliar de la coagulación un valor de 15 mL/L, con la concentración óptima al 4%, para el pH un valor de 8, para la gradiente de velocidad un valor de  $60 \text{ s}^{-1}$  y para el tiempo óptimo de sedimentación un valor de 10 min.

- El dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua residual para el laboratorio de Control de Calidad de la EMAPA-G. se realizó en base a cálculos de ingeniería y criterios de diseño, integrándose por los siguientes componentes: rejillas con un ancho de 0.40m, el tanque de almacenamiento y coagulación con un diámetro de 2m, para un volumen de  $5 \text{ m}^3$ , con un agitador de seis paletas en su interior, seguidamente se encuentra un floculador de flujo horizontal de 3m de longitud por 2.80m de ancho, luego se ubica un sedimentador de alta tasa de 6m de longitud por 2m de ancho, después va un filtro anaeróbico de flujo ascendente de 7m de longitud y 5.40m de ancho, seguidamente se ubica el tanque de desinfección de 0.50m de longitud y 0.50m de ancho, por último se ubica el tanque de almacenamiento final de 2m de diámetro y volumen de  $5 \text{ m}^3$  y las eras de secado que van conectadas al sedimentador, de 2m por 0.30m.
- Se consideraron como los principales contaminantes del agua residual a la demanda química de oxígeno (BQO) y a la demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), el rendimiento teórico de la planta para la remoción de DQO fue del 93%, con una concentración final de 57.58 mg/L. El rendimiento teórico de la planta para la remoción de  $\text{DBO}_5$  fue del 93.18%, con una concentración final de 24.34 mg/L. Ambos valores se ubican por debajo del límite máximo permisible de la tabla 12, del anexo 1, del libro VI, de la normativa TULSMA.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda para el muestreo del agua residual, para la muestra compuesta, tener especial cuidado en el almacenamiento y en la toma de las alícuotas para conformar el volumen total.
- Se recomienda la aplicación de las normas de seguridad en todas las áreas del laboratorio, especialmente cuando se trabaja con el fotómetro, espectrofotómetro y en la prueba de jarras.
- Se recomienda al personal del laboratorio hacer uso del agua tratada para el lavado de instalaciones.
- Se recomienda la implementación de la planta de tratamiento de agua residual propuesta.
- Se recomienda seguir el manual de operaciones y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales para el correcto desempeño de depuración.



## **RESUMEN**

Se realizó el Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para un Laboratorio de Control de Calidad en el cantón Guaranda, provincia Bolívar, para disminuir la contaminación del área afectada y mejorar la calidad de vida de los moradores del sector. Se inició con la medición del caudal efluente del laboratorio, se empleó el método volumétrico, se midió el caudal cada 10 minutos a partir de las 8:00 hasta las 18:00 horas, durante una semana de lunes a viernes. Se tomaron 5 muestras de las aguas residuales, se utilizó el muestreo compuesto. Para la caracterización se utilizaron métodos HACH y métodos empíricos de laboratorio. Para la dosificación de químicos se realizó la prueba de jarras. Para el dimensionamiento se emplearon cálculos de ingeniería y criterios de diseño. Los resultados del monitoreo del caudal señalaron que, este es variable y de flujo pequeño. Los parámetros resultantes de la caracterización se compararon con los límites máximos permisibles de la tabla 12, del anexo 1, del libro VI, de la normativa TULSMA, los que no cumplieron con la norma fueron: sólidos totales disueltos, fluoruros, cobalto, plomo, plata, bario, DQO, DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales. Se dimensionó la planta de tratamiento compuesta por: rejillas, tanque de almacenamiento y coagulación, floculador de flujo horizontal, sedimentador de alta tasa, filtro anaeróbico de flujo ascendente, tanque de desinfección y tanque de almacenamiento final. Se consideraron como los principales contaminantes a la BQO y a la DBO<sub>5</sub>, el rendimiento teórico de la planta para la remoción de DQO fue del 93%, con una concentración final de 57.58 mg/L. El rendimiento teórico de la planta para la remoción de DBO<sub>5</sub> fue del 93.18%, con una concentración final de 24.34 mg/L. Ambos valores se ubican por debajo del límite que exige la normativa. Se recomienda al personal del laboratorio, el uso del agua tratada, para el lavado de instalaciones.

## **PALABRAS CLAVE**

<PLANTA DE TRATAMIENTO> <AGUAS RESIDUALES> <DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS> <PRUEBA DE JARRAS> <COAGULACIÓN> <FLOCULADOR DE FLUJO HORIZONTAL> <SEDIMENTADOR DE ALTA TASA> <FILTRO ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE> <TANQUE DE DESINFECCIÓN> <DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO>

## **SUMMARY**

Design of Treatment Plant Wastewater laboratory Quality Control in canton Guaranda, Bolivar province, to reduce pollution of the affected area and improve the quality of life of the inhabitants of the area was performed. It began with the measurement of effluent flow laboratory, the volumetric method is used, and the flow rate was measured every 10 minutes from 8:00 until 18:00, for a week from Monday to Friday. 5 wastewater samples were taken, the sample compound was used. HACH methods for characterization and empirical laboratory methods were used.

For dosing of chemical jar testing was performed. For the design engineering calculations and design criteria they were used. The results of monitoring the flow noted that is variable and small flow. The parameters resulting from the characterization were compared with the maximum permissible limits of Table 12, Annex 1 of book VI, of the regulations TULSMA, which did not meet the standard were: total dissolved solids, fluorides, cobalt, lead, silver, barium, COD, BOD and fecal coliforms. Grids, storage tank and coagulation, horizontal flocculator, high rate sedimentation, anaerobic filter up loose, tank disinfection and final storage tank: the treatment plant was sized composed. They were considered as the main pollutants to COD and BOD, the theoretical yield of the plant for COD removal was 93%, with a final concentration of 57.58 mg/L. The theoretical yield of the plant for BOD, was 93.1%, with a final concentration of 24.34 mg/L. Both values are below the limit required by law. It is recommended that the laboratory personnel, use of treated water for washing facilities.

## **KEYWORDS**

<TREATMENT PLANT> < WASTEWATER> < CHEMICAL FEED> < JAR TEST>  
<COAGULATION> <HORIZONTAL FLOW FLOCCULATOR> < HIGH RATE SETTLER>  
<UPFLOW ANAEROBIC FILTER> < DESINFECTION TANK> < CHEMICAL OXYGEN  
DEMAND>

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ARBOLEDA, J.**, Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. 3 ed., Bogotá-Colombia. Editorial NOMOS. 2000, pp. 63-100; 200-201; 551-562.

**ARELLANO, J.**, Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el teñido en la Curtiduría Tungurahua S.A. (Tesis) (Ing. Biotecnología Ambiental). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2014, pp. 150.

**ARCE, A.**, Serie Autodidáctica de Medición de la calidad del agua. Fundamentos Técnicos para el Muestreo y Análisis de Aguas Residuales. México D.F- México. Instituto Mexicano de tecnología del Agua. 2000, pp. 1-2; 5, 8, 28.

**BARRENECHEA, M.**, Coagulación Química. Valencia-España. AlfaOmega. 2004. pp. 174-175.

**BENAYAS, J.**, El Agua, Guía para la Educación Ambiental. Bogotá-Colombia. McGraw-Hill. 1989, pp. 5-13.

**BOLAÑOS, I.**, Diseño Espacial y Estructural de una Planta de Tratamiento de aguas Residuales para la Universidad Tecnológica de Mixteca. (Tesis) (Ing. Química). Escuela de ingeniería en Diseño. México D.F - México. 2012, pp. 13-23.

**BUCAI, R.**, Rediseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para EP-Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Guaranda. (Tesis) (Ing. Química). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2013, pp. 117, 118.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3658/1/96T00273%20UDCTFC.pdf>  
2015-01-21

**COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO.**, Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS - 2000). Sección II - Título E: Tratamiento de Aguas Residuales. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá D.C.- Colombia. Editorial Ministerio de Desarrollo Económico. 2000, pp. 15-16; 25, 34, 51, 54.

**CONESA, V.,** Guía Metodología para la Evaluación del Impacto Ambiental. 4ªed., Madrid-España. Ediciones Mundi-Prensa. 2010, pp. 300-305.

**CRITES, R., & TCHOBANOGLIOUS, G.,** Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. 2ªed., Bogotá-Colombia. McGraw-Hill. 2000, pp. 7-10; 200-204.

**ECUADOR, MINISTERIO DE AMBIENTE.,** Texto Unificado de legislación Secundaria de Medio Ambiente., Libro VI- Anexo I: Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes: Recurso Agua., Quito-Ecuador., 2010., pp. 330.

**ECUADOR, INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR.,** Información base para la elaboración de planos. 2011.

<http://www.igm.gob.ec/work/index.php>

2014-11-15

**ECUADOR, GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE GUARANDA.,** Información relevante y datos socioeconómicos del cantón Guaranda.

<http://www.guaranda.gob.ec/web/el-canton/datos-importantes>

2014-11-15

**ECUADOR, ECUELA SUPERIOR POLITÉCTINA DE CHIMBORAZO.,** Líneas de Investigación. 2011.

[http://TbGUU6PIKovSsATRu4C4Dw&usg=AFQjCNFtROCqDhGGlpOg9D3JyavsBIq\\_Gg&bvm=bv.68445247,d.cWc](http://TbGUU6PIKovSsATRu4C4Dw&usg=AFQjCNFtROCqDhGGlpOg9D3JyavsBIq_Gg&bvm=bv.68445247,d.cWc)

2014-10-10

**ECUADOR, EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE DE GUARANDA.,** Proceso de producción y red de distribución. 2014.

<http://www.emapag.gob.ec/1/AGUAPOTABLE/Procesosdeproducci%C3%B3nydistribuci%C3%B3n.aspx>

2014-11-04

**GRANDA, I.,** Diseño de un Sistema de tratamiento de Agua en la Comunidad de la Región Amazónica de Timpoca. (Tesis) (Ing. Química). Ingeniería Química, Escuela Politécnica Nacional. Quito- Ecuador. 2007, pp. 5-10.

**INFANTE, P.,** Estudio de la contaminación por metales pesados en sedimentos y ostiones de la Bahía de Manzanillo, La Habana-Cuba. *Revistas Científicas de América Latina*. 2002, pp. 46; 357-361.

**MARRÓN, C.,** Sistemas de agua potable. 2ªed., Lima-Perú. Tarea Asociativa Gráfica Educativa. 1992, pp. 52-60.

**MARTINEZ, A., SALVADOR, M., GALINDO, E.,** Consumo de potencia en fermentadores: implicaciones del uso de turbinas y aspersores de aire no estándar. Lima-Perú. Editorial MP. 1992, pp. 177.

**METCALF., & EDDY.,** Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. 4ªed., Madrid-España. McGraw-Hill. 2009, pp. 554-582.

**OROZCO, A.,** Biotecnología de Aguas Residuales: Teoría y Diseño. 1ªed., Bogotá-Colombia., Acodal. 2005, pp. 13-15; 17-19.

**OSORIO, F.,** Tratamiento de Aguas para la Eliminación de Microorganismos y Agentes Contaminantes. 1ªed., Madrid-España. Reveté. 2003., pp. 29; 77-78.

**PERÚ, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS.,** Modificación del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de la unidad minera Huachocolpa Uno - correspondiente al Plan Integral para la Adecuación e Implementación de LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicos y a los ECA para agua. 2012.

[http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/inicio/resumen/RE\\_2225733.PDF](http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/inicio/resumen/RE_2225733.PDF)  
2014-11-15

**PERÚ, OPS/CEPIS.,** Especificaciones técnicas para el diseño de plantas de tratamiento de agua residual., 1ªed., Lima-Perú. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias del ambiente. 2003., pp. 7-48.

**PERÚ, GTZ-OPS/OMS-HPE-CEPIS.,** Proyecto Educación Continua en Tecnologías Apropriadas en Agua y Saneamiento para Profesores Universitarios en América Latina., HPE-CEPIS. 1993, pp. 2-18.

**RAMALHO, R.,** Tratamiento de aguas residuales. 2ªed., Sevilla-España. Reveté S.A. 2003, pp. 53-63.

**ROMERO, J.,** Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño. 3ªed., Bogotá - Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2004, pp. 18-20; 139; 706-730.

**ROS, G.,** Contaminación de Aguas en Ecuador. Quito-Ecuador. Abya Yala. 1995, pp. 20-30.

**RUSHTON, J., COSTICH, E., & EVERETT, H.,** Características eléctricas de los impulsores de mezcla. Progresos de Ingeniería Química. Camberra-Australia. Chem Eng Prog. 1950, pp. 468.

**SOLÍS, A., JARAMILLO, V.,** Determinación de Niveles Contaminantes Ocasionados por Procesos Productivos en la Industria de Aluminio Cedal S.A. (Tesis) (Master en Ciencias de la Ingeniería y Gestión Ambiental). Ambato-Ecuador, 2008, pp 47-52.

<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2162/3/Maestr%C3%ADa%20G.%20A.%2032%20-%20Sol%C3%ADs%20Sol%C3%ADs%20Angel%20Alonso.pdf>  
2014-10-16

**VALENCIA, A.** Diseño de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales de la Cabecera Parroquial de San Luis-Provincia de Chimborazo. (Tesis) (Ing. Biotecnología Ambiental). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2013, pp.16-20.

<http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/3118/1/236T0084.pdf>  
2014-10-16

**VALDEZ, E.,** Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales. México-D.F. Fundación ICA. 2003, pp. 27-35.

<http://es.scribd.com/doc/126793347/> Ingeniería-de-los-Sistemas-de-Tratamiento-y-Disposición-de-Aguas-Residuales  
2014-10-16

**ZÚÑIGA, F.,** Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. 2ªed., Yucatán-México. UADY. 1999, pp. 22, 37.

## ANEXOS

### Anexo 1. Protocolo para el muestreo del agua residual

Paso a seguir	Descripción
Selección del método de muestreo	Se basa en técnicas y equipos apropiados para el muestreo.
Seguir un plan de muestreo	Se refiere a la cantidad, clase y puntos de muestreo y sus tiempos.
Tener una libreta de campo	Para poder anotar la información pertinente al trabajo de campo.
Indicar los componentes de la muestra	Mediante un inventario de parámetros para medir, dependiendo del análisis que se realice.
Sellado de muestras	De una forma hermética.
Rotulación de muestras	Con tinta indeleble y de una forma adecuada, para su identificación en el momento de transporte y análisis.
Preservación de la muestra	Dependerá del tiempo de almacenamiento.
Tipo de recipiente	Prever el tipo de recipiente para el almacenamiento de la muestra, puede ser de plástico, vidrio o ámbar.
El análisis de la muestra	Para ciertos parámetros se recomiendan ser medidos in situ y otros en un laboratorio calificado.

**Fuente:** Romero, J. Colombia 2006.

### Anexo 2. Propiedades físicas del agua Propiedades físicas del agua

Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica (Ns/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)
0	9.805	999.8	1.781 x 10 <sup>-3</sup>	1.785 x 10 <sup>-6</sup>
5	9.807	1000.0	1.518 x 10 <sup>-3</sup>	1.519 x 10 <sup>-6</sup>
10	9.804	999.7	1.307 x 10 <sup>-3</sup>	1.306 x 10 <sup>-6</sup>
15	9.798	999.1	1.139 x 10 <sup>-3</sup>	1.139 x 10 <sup>-6</sup>
20	9.789	998.2	1.102 x 10 <sup>-3</sup>	1.003 x 10 <sup>-6</sup>
25	9.777	997.0	0.890 x 10 <sup>-3</sup>	0.893 x 10 <sup>-6</sup>
30	9.764	995.7	0.708 x 10 <sup>-3</sup>	0.800 x 10 <sup>-6</sup>
40	9.730	992.2	0.653 x 10 <sup>-3</sup>	0.658 x 10 <sup>-6</sup>
50	9.689	988.0	0.547 x 10 <sup>-3</sup>	0.553 x 10 <sup>-6</sup>
60	9.642	983.2	0.466 x 10 <sup>-3</sup>	0.474 x 10 <sup>-6</sup>
70	9.586	977.8	0.404 x 10 <sup>-3</sup>	0.431 x 10 <sup>-6</sup>
80	9.530	971.8	0.354 x 10 <sup>-3</sup>	0.326 x 10 <sup>-6</sup>
90	9.466	965.3	0.315 x 10 <sup>-3</sup>	0.326 x 10 <sup>-6</sup>
100	9.399	958.4	0.282 x 10 <sup>-3</sup>	0.294 x 10 <sup>-6</sup>

**Fuente:** DAUGHERTY, R; FRANZINI, J. (1978)

### Anexo 3. Marco Legal

<b>CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR</b>	
<p><b>TÍTULO II</b></p> <p><b>DERECHOS</b></p> <p><b>Capítulo Segundo, Sección Segunda, Ambiente Sano</b></p>	<p>Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, <i>sumak kawsay</i>.</p> <p>Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.</p> <p>Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.</p> <p>Capítulo séptimo, Derecho de la Naturaleza</p> <p>Art. 71.- La naturaleza o <i>Pachamama</i>, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.</p> <p>Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.</p>
<p><b>TÍTULO VII</b></p> <p><b>RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR</b></p> <p><b>Capítulo Segundo, Sección Primera, Naturaleza y ambiente</b></p>	<p>Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los Impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.</p>
<p><b>TÍTULO VII</b></p> <p><b>RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR</b></p> <p><b>Capítulo Segundo, Sección Sexta, Agua</b></p>	<p>Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo</p>



	hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.
<b>LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL</b>	Artículo 33.- Establézcanse como instrumentos de aplicación de las normas ambientales los siguientes: parámetros de calidad ambiental, normas de efluentes y emisiones, normas técnicas de calidad de productos, régimen de permisos y licencias administrativas, evaluaciones de impacto ambiental, listados de productos contaminantes y nocivos para la salud humana y el medio ambiente, certificaciones de calidad ambiental de productos y servicios y otros que serán regulados en el respectivo reglamento.
<b>LEY DE AGUAS</b>	
<b>TITULO II .CAPITULO I, DE LA CONSERVACION</b>	Art. 21.- El usuario de un derecho de aprovechamiento, utilizará las aguas con la mayor eficiencia y economía, debiendo contribuir a la conservación y mantenimiento de las obras e instalaciones de que dispone para su ejercicio.
<b>TITULO II, CAPITULO II, DE LA CONTAMINACION</b>	Art. 22.-Prohíbese toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna.
<b>TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE (TULSMA)</b>	
<b>NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA</b>	<b>Libro VI, Anexo I</b> Establece los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones.

#### **Anexo 4. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>EXPRESADO COMO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE</b>
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,3
Alkil mercurio		mg/L	NO DETECTABLE
Aldehídos		mg/L	2,0
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	2,0

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Boro total	B	mg/L	2,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/L	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/L	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/L	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/L	1 000
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/L	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/L	1,0
Estaño	Sn	mg/L	5,0
Fluoruros	F	mg/L	5,0
Fósforo Total	P	mg/L	10
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/L	20,0
Manganeso total	Mn	mg/L	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/L	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/L	10,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/L	15

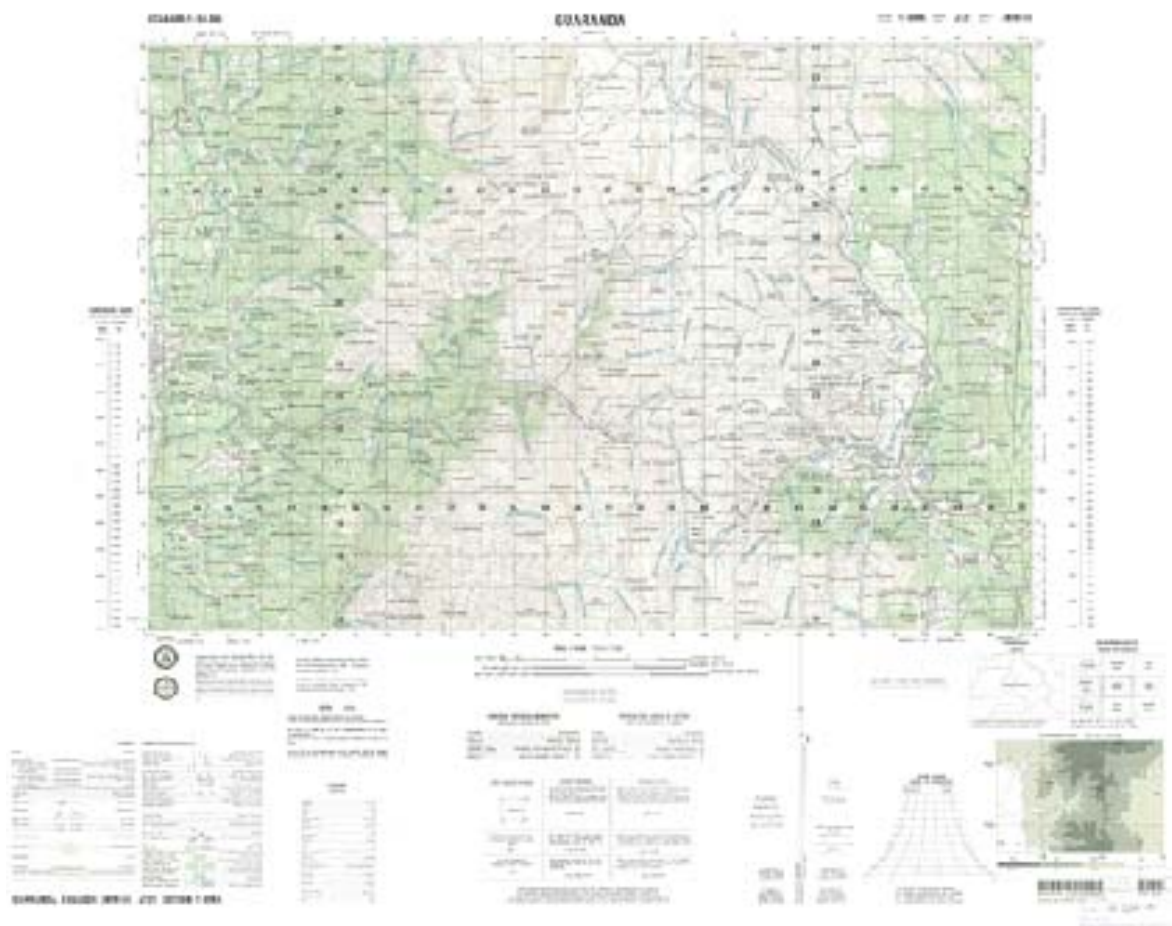
PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/L	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/L	0,1
Plata	Ag	mg/L	0,1
Plomo	Pb	mg/L	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/L	0,1
Sólidos Sedimentables		mg/L	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/L	100
Sólidos totales		mg/L	1 600
Sulfatos	SO4=	mg/L	1000
Sulfitos	SO3	mg/L	2,0
Sulfuros	S	mg/L	0,5
Temperatura	oC	mg/L	< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/L	1,0
Vanadio		mg/L	5,0
Zinc	Zn	mg/L	5,0

### Anexo 5. Cronograma de actividades

N°	ACTIVIDADES	PERIODO											
		Septiembre 2014								Octubr e 2014	Noviembre 2014	Diciembre 2014	Enero 2015
		0 8	0 9	1 0	2 2	2 3	2 4	25	2 6	13	15	15	19
ACT.1	Visita para el reconocimiento de la zona												
ACT.2	Revisión de estudios hechos en la zona												
ACT.3	Entrevistas al personal de la empresa												
ACT.4	Identificación de los puntos de interés para la PTAR												
ACT.5	Georreferenciación de puntos de interés para la PTAR												
ACT.6	Identificación del punto de medición												
ACT.7	Medición y monitoreo del caudal efluente del laboratorio												
ACT.8	Identificación del punto de muestreo												
ACT.9	Muestreo del agua residual												
ACT.10	Caracterización del agua residual												
ACT.10	Prueba de coagulación, floculación y sedimentación												

Elaborado por: Mabel Zapata

## Anexo 6. Mapa de Guaranda



Fuente: IGM (2011)

## Anexo 7. Muestreo compuesto

**Resultado del volumen individual para conformar la muestra compuesta N°2**

N° Muestra individual	Hora (h)	Caudal instantáneo Qi (L/min)	Caudal promedio Qp (L/min)	Volumen individual (L)
1	9:00:00	0.59	2.13	0.13833529
2	10:00:00	1.65	2.13	0.38686987
3	11:00:00	6.2	2.13	1.45369285
4	12:00:00	0.09	2.13	0.02110199
<b>Volumen final de la muestra compuesta</b>				<b>2</b>

Elaborado por: Mabel Zapata

**Resultado del volumen individual para conformar la muestra compuesta N°3**

<b>N° Muestra individual</b>	<b>Hora (h)</b>	<b>Caudal instantáneo Qi (L/min)</b>	<b>Caudal promedio Qp (L/min)</b>	<b>Volumen individual (L)</b>
1	9:00:00	0.2	1.37	0.07285974
2	10:00:00	4.5	1.37	1.63934426
3	11:00:00	0.68	1.37	0.24772313
4	12:00:00	0.11	1.37	0.04007286
<b>Volumen final de la muestra compuesta</b>				<b>2</b>

Elaborado por: Mabel Zapata

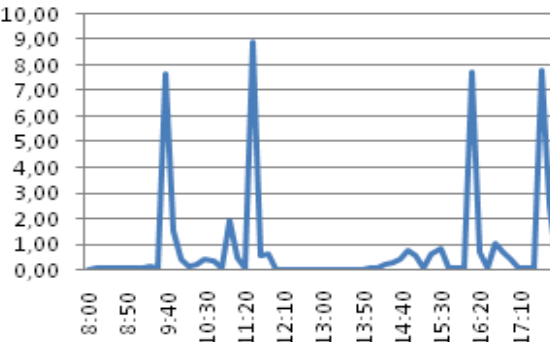
**Resultado del volumen individual para conformar la muestra compuesta N°4**

<b>N° Muestra individual</b>	<b>Hora (h)</b>	<b>Caudal instantáneo Qi (L/min)</b>	<b>Caudal promedio Qp (L/min)</b>	<b>Volumen individual (L)</b>
1	9:00:00	0.76	2.89	0.13160173
2	10:00:00	7.4	2.89	1.28138528
3	11:00:00	3.25	2.89	0.56277056
4	12:00:00	0.14	2.89	0.02424242
<b>Volumen final de la muestra compuesta</b>				<b>2</b>

Elaborado por: Mabel Zapata

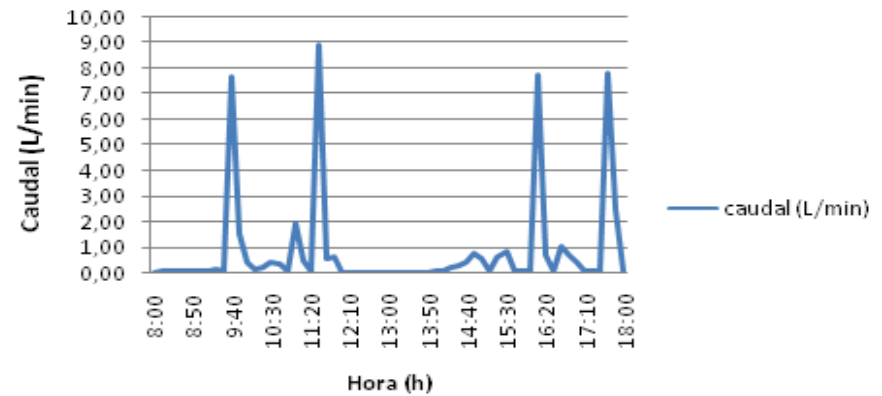
## Anexo 8. Monitoreo del caudal

### Monitoreo del día lunes

# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min)	# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min )	# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min)	# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min)		
1	8:00	1	0,00	23	11:40	1	0,58	45	15:20	1	0,60	56	17:10	1	0,04		
2	8:10	1	0,04	24	11:50	1	0,62	46	15:30	1	0,80	57	17:20	1	0,04		
3	8:20	1	0,04	25	12:00	1	0,04	47	15:40	1	0,10	58	17:30	1	0,04		
4	8:30	1	0,06	26	12:10	1	0,00	48	15:50	1	0,04	59	17:40	1	7,8		
5	8:40	1	0,04	27	12:20	1	0,00	49	16:00	1	0,04	60	17:50	1	2,5		
6	8:50	1	0,04	28	12:30	1	0,00	50	16:10	1	7,7	61	18:00	1	0,04		
7	9:00	1	0,04	29	12:40	1	0,00	51	16:20	1	0,72	<div><div></div><div>Suma</div><div>Prom.</div><div>48,83</div><div>0,80</div></div>					
8	9:10	1	0,08	30	12:50	1	0,00	52	16:30	1	0,04						
9	9:20	1	0,11	31	13:00	1	0,00	53	16:40	1	1,06						
10	9:30	1	0,07	32	13:10	1	0,00	54	16:50	1	0,72						
11	9:40	1	7,64	33	13:20	1	0,00	55	17:00	1	0,43						
12	9:50	1	1,49	34	13:30	1	0,00	<div><div>Variación del caudal en el día</div><div></div></div>									
13	10:00	1	0,38	35	13:40	1	0,00										
14	10:10	1	0,15	36	13:50	1	0,00										
15	10:20	1	0,2	37	14:00	1	0,03										
16	10:30	1	0,4	38	14:10	1	0,04										
17	10:40	1	0,35	39	14:20	1	0,20										
18	10:50	1	0,10	40	14:30	1	0,25										
19	11:00	1	1,90	41	14:40	1	0,43										
20	11:10	1	0,50	42	14:50	1	0,73										
21	11:20	1	0,06	43	15:00	1	0,53										
22	11:30	1	8,9	44	15:10	1	0,08										

Elaborado por: Mabel Zapata

### Variación del caudal en el día lunes

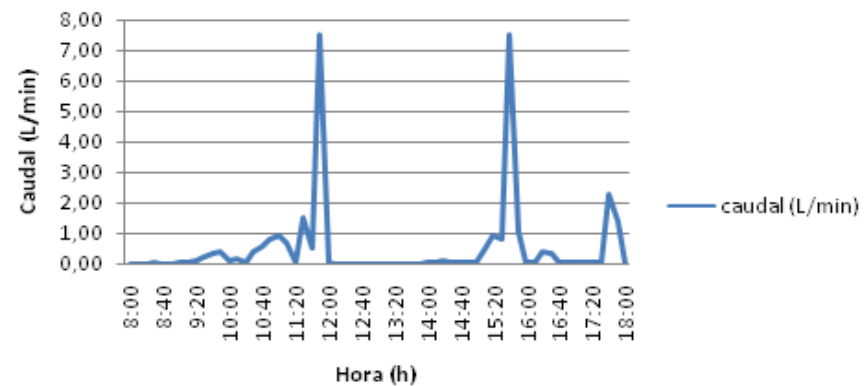


### Monitoreo del día martes

# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min)	# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min)	# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min)
1	8:00	1	0,00	26	12:10	1	0,00	51	16:20	1	0,43
2	8:10	1	0,00	27	12:20	1	0,00	52	16:30	1	0,33
3	8:20	1	0,00	28	12:30	1	0,00	53	16:40	1	0,04
4	8:30	1	0,08	29	12:40	1	0,00	54	16:50	1	0,04
5	8:40	1	0,00	30	12:50	1	0,00	55	17:00	1	0,04
6	8:50	1	0,00	31	13:00	1	0,00	56	17:10	1	0,04
7	9:00	1	0,04	32	13:10	1	0,00	57	17:20	1	0,04
8	9:10	1	0,04	33	13:20	1	0,00	58	17:30	1	0,04
9	9:20	1	0,09	34	13:30	1	0,00	59	17:40	1	2,28
10	9:30	1	0,22	35	13:40	1	0,00	60	17:50	1	1,43
11	9:40	1	0,36	36	13:50	1	0,00	61	18:00	1	0
12	9:50	1	0,43	37	14:00	1	0,04	<div><div>Varia</div><div><div>Caudal (L/min)</div><div><div>8,00</div><div>7,00</div><div>6,00</div><div>5,00</div><div>4,00</div><div>3,00</div><div>2,00</div><div>1,00</div><div>0,00</div></div><div><div>8:00</div><div>8:40</div><div>9:20</div></div></div></div>			
13	10:00	1	0,09	38	14:10	1	0,04				
14	10:10	1	0,15	39	14:20	1	0,10				
15	10:20	1	0,06	40	14:30	1	0,05				
16	10:30	1	0,4	41	14:40	1	0,04				
17	10:40	1	0,57	42	14:50	1	0,04				
18	10:50	1	0,83	43	15:00	1	0,06				
19	11:00	1	0,93	44	15:10	1	0,50				
20	11:10	1	0,73	45	15:20	1	0,95				
21	11:20	1	0,08	46	15:30	1	0,80				
22	11:30	1	1,5	47	15:40	1	7,50				
23	11:40	1	0,54	48	15:50	1	1,05				
24	11:50	1	7,50	49	16:00	1	0,04				
25	12:00	1	0,04	50	16:10	1	0,04				
								<b>Suma</b> <b>30,64</b>			
								<b>Prom.</b> <b>0,5023</b>			

Elaborado por: Mabel Zapata

### Variación del caudal en el día martes



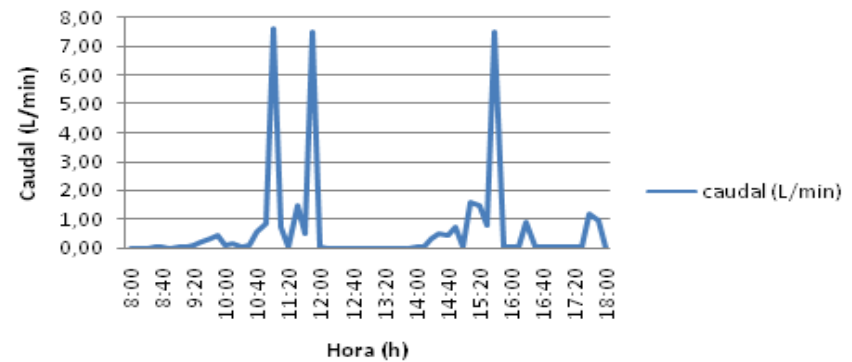


### Monitoreo del día miércoles

# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min)	# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min)	# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min)
1	8:00	1	0,00	26	12:10	1	0,00	51	16:20	1	0,93
2	8:10	1	0,00	27	12:20	1	0,00	52	16:30	1	0,04
3	8:20	1	0,00	28	12:30	1	0,00	53	16:40	1	0,04
4	8:30	1	0,08	29	12:40	1	0,00	54	16:50	1	0,04
5	8:40	1	0,06	30	12:50	1	0,00	55	17:00	1	0,04
6	8:50	1	0,00	31	13:00	1	0,00	56	17:10	1	0,04
7	9:00	1	0,04	32	13:10	1	0,00	57	17:20	1	0,04
8	9:10	1	0,04	33	13:20	1	0,00	58	17:30	1	0,04
9	9:20	1	0,09	34	13:30	1	0,00	59	17:40	1	1,2
10	9:30	1	0,22	35	13:40	1	0,00	60	17:50	1	0,97
11	9:40	1	0,36	36	13:50	1	0,00	61	18:00	1	0
12	9:50	1	0,43	37	14:00	1	0,04	<div><div>Varia</div><div><div>Caudal (L/min)</div><div><div><div>8,00</div><div>7,00</div><div>6,00</div><div>5,00</div><div>4,00</div><div>3,00</div><div>2,00</div><div>1,00</div><div>0,00</div></div><div><div>8:00</div><div>8:40</div></div></div></div></div>	Suma	38,22	
13	10:00	1	0,09	38	14:10	1	0,04		Prom.	0,62656	
14	10:10	1	0,15	39	14:20	1	0,35				
15	10:20	1	0,06	40	14:30	1	0,49				
16	10:30	1	0,1	41	14:40	1	0,48				
17	10:40	1	0,57	42	14:50	1	0,73				
18	10:50	1	0,83	43	15:00	1	0,08				
19	11:00	1	7,6	44	15:10	1	1,60				
20	11:10	1	0,73	45	15:20	1	1,50				
21	11:20	1	0,08	46	15:30	1	0,80				
22	11:30	1	1,5	47	15:40	1	7,50				
23	11:40	1	0,54	48	15:50	1	0,04				
24	11:50	1	7,50	49	16:00	1	0,04				
25	12:00	1	0,04	50	16:10	1	0,04				

Elaborado por: Mabel Zapata

Variación del caudal en el día miércoles

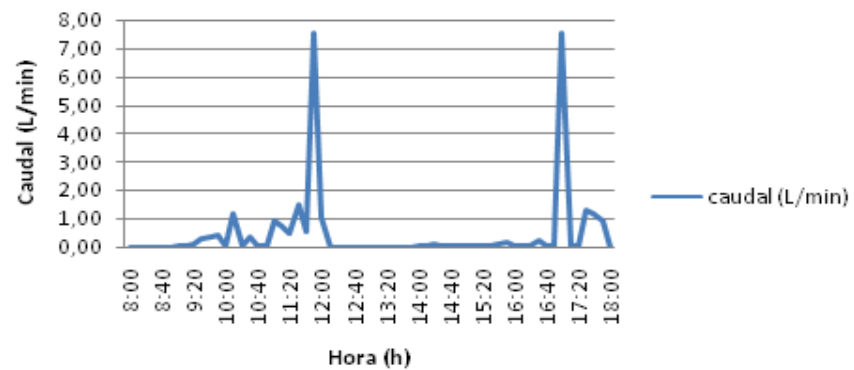


### Monitoreo del día jueves

# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min)	# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min)	# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min)																												
1	8:00	1	0,00	26	12:10	1	0,00	51	16:20	1	0,05																												
2	8:10	1	0,00	27	12:20	1	0,00	52	16:30	1	0,26																												
3	8:20	1	0,00	28	12:30	1	0,00	53	16:40	1	0,04																												
4	8:30	1	0,00	29	12:40	1	0,00	54	16:50	1	0,04																												
5	8:40	1	0,00	30	12:50	1	0,00	55	17:00	1	7,54																												
6	8:50	1	0,00	31	13:00	1	0,00	56	17:10	1	0,04																												
7	9:00	1	0,04	32	13:10	1	0,00	57	17:20	1	0,04																												
8	9:10	1	0,04	33	13:20	1	0,00	58	17:30	1	1,3																												
9	9:20	1	0,1	34	13:30	1	0,00	59	17:40	1	1,2																												
10	9:30	1	0,31	35	13:40	1	0,00	60	17:50	1	0,97																												
11	9:40	1	0,36	36	13:50	1	0,00	61	18:00	1	0																												
12	9:50	1	0,43	37	14:00	1	0,04				Suma	28,31																											
13	10:00	1	0,09	38	14:10	1	0,04				Prom.	0,4641																											
14	10:10	1	1,2	39	14:20	1	0,10	<div><h3>Variación de Caudal</h3><table><caption>Data for Variación de Caudal</caption><thead><tr><th>Hora</th><th>Caudal (L/min)</th></tr></thead><tbody><tr><td>8:00</td><td>0.00</td></tr><tr><td>8:10</td><td>0.00</td></tr><tr><td>8:20</td><td>0.00</td></tr><tr><td>8:30</td><td>0.00</td></tr><tr><td>8:40</td><td>7.54</td></tr><tr><td>8:50</td><td>0.00</td></tr><tr><td>9:00</td><td>0.04</td></tr><tr><td>9:10</td><td>0.04</td></tr><tr><td>9:20</td><td>0.10</td></tr><tr><td>9:30</td><td>0.31</td></tr><tr><td>9:40</td><td>0.36</td></tr><tr><td>9:50</td><td>0.43</td></tr><tr><td>10:00</td><td>0.00</td></tr></tbody></table></div>				Hora	Caudal (L/min)	8:00	0.00	8:10	0.00	8:20	0.00	8:30	0.00	8:40	7.54	8:50	0.00	9:00	0.04	9:10	0.04	9:20	0.10	9:30	0.31	9:40	0.36	9:50	0.43	10:00	0.00
Hora	Caudal (L/min)																																						
8:00	0.00																																						
8:10	0.00																																						
8:20	0.00																																						
8:30	0.00																																						
8:40	7.54																																						
8:50	0.00																																						
9:00	0.04																																						
9:10	0.04																																						
9:20	0.10																																						
9:30	0.31																																						
9:40	0.36																																						
9:50	0.43																																						
10:00	0.00																																						
15	10:20	1	0,06	40	14:30	1	0,05																																
16	10:30	1	0,4	41	14:40	1	0,04																																
17	10:40	1	0,06	42	14:50	1	0,04																																
18	10:50	1	0,05	43	15:00	1	0,06																																
19	11:00	1	0,93	44	15:10	1	0,04																																
20	11:10	1	0,73	45	15:20	1	0,04																																
21	11:20	1	0,50	46	15:30	1	0,08																																
22	11:30	1	1,5	47	15:40	1	0,10																																
23	11:40	1	0,54	48	15:50	1	0,18																																
24	11:50	1	7,54	49	16:00	1	0,04																																
25	12:00	1	1,06	50	16:10	1	0,04																																

Elaborado por: Mabel Zapata

### Variación del caudal en el día jueves

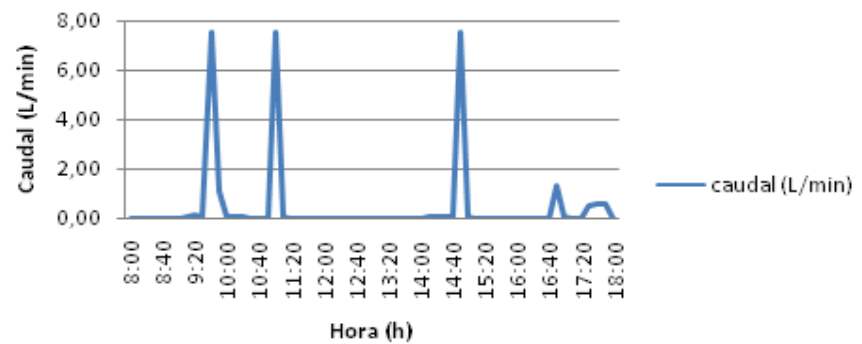


### Monitoreo del día viernes

# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min)	# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min)	# M	Hora (h)	tiempo (min)	caudal (L/min)																																			
1	8:00	1	0,00	26	12:10	1	0,00	51	16:20	1	0,00																																			
2	8:10	1	0,00	27	12:20	1	0,00	52	16:30	1	0,00																																			
3	8:20	1	0,00	28	12:30	1	0,00	53	16:40	1	0,00																																			
4	8:30	1	0,00	29	12:40	1	0,00	54	16:50	1	1,3																																			
5	8:40	1	0,00	30	12:50	1	0,00	55	17:00	1	0,06																																			
6	8:50	1	0,00	31	13:00	1	0,00	56	17:10	1	0,00																																			
7	9:00	1	0,00	32	13:10	1	0,00	57	17:20	1	0,00																																			
8	9:10	1	0,10	33	13:20	1	0,00	58	17:30	1	0,49																																			
9	9:20	1	0,12	34	13:30	1	0,00	59	17:40	1	0,60																																			
10	9:30	1	0,05	35	13:40	1	0,00	60	17:50	1	0,6																																			
11	9:40	1	7,5	36	13:50	1	0,00	61	18:00	1	0																																			
12	9:50	1	1,1	37	14:00	1	0,00	<div><div>Variación de Caudal</div><table><caption>Variación de Caudal</caption><thead><tr><th>Hora</th><th>Caudal (L/min)</th></tr></thead><tbody><tr><td>8:00</td><td>0,00</td></tr><tr><td>8:10</td><td>0,00</td></tr><tr><td>8:20</td><td>0,00</td></tr><tr><td>8:30</td><td>0,00</td></tr><tr><td>8:40</td><td>0,00</td></tr><tr><td>8:50</td><td>0,00</td></tr><tr><td>9:00</td><td>0,00</td></tr><tr><td>9:10</td><td>0,10</td></tr><tr><td>9:20</td><td>0,12</td></tr><tr><td>9:30</td><td>0,05</td></tr><tr><td>9:40</td><td>7,5</td></tr><tr><td>9:50</td><td>1,1</td></tr><tr><td>10:00</td><td>0,05</td></tr><tr><td>10:10</td><td>0,06</td></tr><tr><td>10:20</td><td>0,06</td></tr><tr><td>10:30</td><td>0,00</td></tr><tr><td>10:40</td><td>7,50</td></tr></tbody></table></div>	Hora	Caudal (L/min)	8:00	0,00	8:10	0,00	8:20	0,00	8:30	0,00	8:40	0,00	8:50	0,00	9:00	0,00	9:10	0,10	9:20	0,12	9:30	0,05	9:40	7,5	9:50	1,1	10:00	0,05	10:10	0,06	10:20	0,06	10:30	0,00	10:40	7,50	Suma	27,4
Hora	Caudal (L/min)																																													
8:00	0,00																																													
8:10	0,00																																													
8:20	0,00																																													
8:30	0,00																																													
8:40	0,00																																													
8:50	0,00																																													
9:00	0,00																																													
9:10	0,10																																													
9:20	0,12																																													
9:30	0,05																																													
9:40	7,5																																													
9:50	1,1																																													
10:00	0,05																																													
10:10	0,06																																													
10:20	0,06																																													
10:30	0,00																																													
10:40	7,50																																													
13	10:00	1	0,05	38	14:10	1	0,06	Prom.	0,44918																																					
14	10:10	1	0,06	39	14:20	1	0,05																																							
15	10:20	1	0,06	40	14:30	1	0,05																																							
16	10:30	1	0,00	41	14:40	1	0,04																																							
17	10:40	1	0,00	42	14:50	1	7,50																																							
18	10:50	1	0,00	43	15:00	1	0,06																																							
19	11:00	1	7,50	44	15:10	1	0,00																																							
20	11:10	1	0,05	45	15:20	1	0,00																																							
21	11:20	1	0,00	46	15:30	1	0,00																																							
22	11:30	1	0,00	47	15:40	1	0,00																																							
23	11:40	1	0,00	48	15:50	1	0,00																																							
24	11:50	1	0,00	49	16:00	1	0,00																																							
25	12:00	1	0,00	50	16:10	1	0,00																																							

Elaborado por: Mabel Zapata

### Variación del caudal en el día viernes



## **Anexo 9. Línea Base**

### **1. LÍNEA BASE**

Es el diagnóstico inicial del lugar donde se va a realizar el proyecto, proporciona la información necesaria para medir los cambios producidos en el ambiente, mediante el conocimiento e identificación del medio abiótico, biótico y socioeconómico; que se encuentran en el área de influencia.

#### **1.1 Ubicación**

El proyecto se ubica en la provincia de Bolívar, cantón Guaranda, parroquia urbana Guanujo, en el sector Chaquishca, de acuerdo al sistema WGS84/UTM zone 17S, en las siguientes coordenadas: X: 722522.937, Y: 9827993.095 y Z: 2931.

##### **1.1.1 Identificación del área de Influencia**

- **Área de Influencia Directa.** Es el sitio dispuesto para la construcción de la PTAR, comprende un área de 242 m<sup>2</sup> y 100m a la redonda.
- **Área de Influencia Indirecta.** Corresponde a los alrededores de la ubicación de la PTAR, se consideró 400m.

#### **1.2 Medio Abiótico**

##### **1.2.1 Datos geográficos**

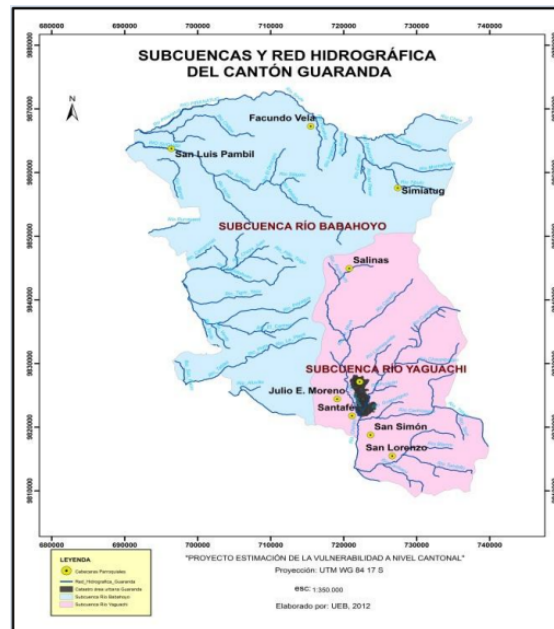
La parroquia urbana Guanujo del cantón Guaranda, se encuentra a una altitud de 2923 msnm, cuenta con una superficie total de 363 km<sup>2</sup>. Geográficamente se encuentra en la región sierra, sus límites son: al norte con la parroquia Salinas, al sur con la ciudad de Guaranda, al este con la cordillera Occidental de los Andes y al oeste con las parroquias Julio E. Moreno y Echeandía

##### **1.2.2 Clima**

En el sector, se presenta un clima templado sub andino, con una temperatura máxima de 17 °C, una temperatura mínima de 10 °C y un promedio de 13.7°C (estación meteorológica M030 San Simón). Las precipitaciones varían desde un valor máximo de 1000mm, un valor mínimo de 50mm y un valor promedio de 525mm.

### 1.2.3 Hidrografía

**Mapa 1. Subcuencas y Red Hidrográfica del cantón Guaranda**

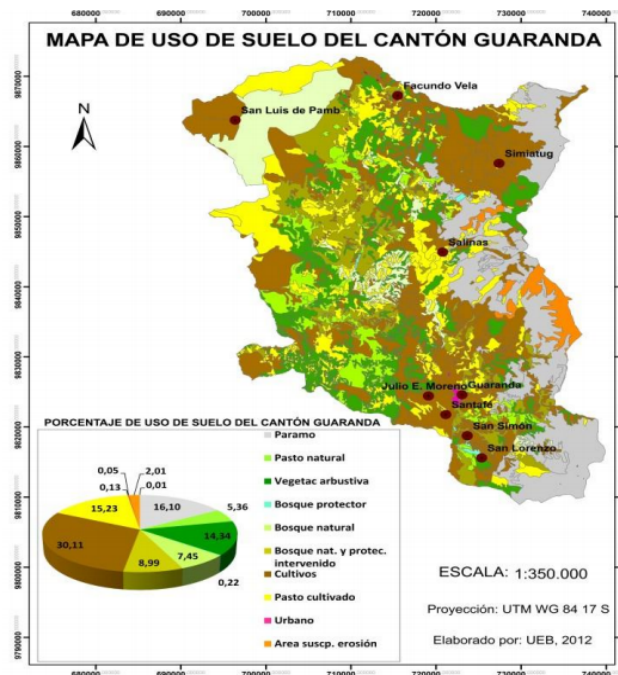


Fuente: UEB, 2012; GAD Guaranda, 2011; IGM, 2007.

En el **Mapa 1**. Se muestra la red hidrográfica del cantón Guaranda, constituida por las subcuencas de los ríos Babahoyo y el Yaguachi, estos forman parte de la cuenca del río Guayas. (UEB, 2012)

### 1.2.4 Uso del suelo

**Mapa 2. Uso de suelo del cantón Guaranda**



Fuente: UEB, 2012; GAD Guaranda, 2011; IGM, 2007.








En el **Mapa 2**. Se muestra el cantón Guaranda, donde la principal actividad es la agropecuaria, es factible para la producción y reserva hídrica, porque cuenta con páramos y bosques naturales. El área está dividida en pequeños terrenos, siendo estas unidades de producción. (UEB, 2012)


### 1.3 Medio Biótico

#### 1.3.1 Flora

**Tabla 1. Caracterización de la flora del sector.**

Imagen	Familia	Nombre Científico	Nombre Común
	CUPRESSACEAE	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Ciprés
	MIRTACEAE	<i>Eucaliptus globulus</i>	Eucalipto Común
	MIMOSACEAE	<i>Albizzialophanta</i>	Acacia bracatinga
	ROSACEAE	<i>Prunuscerotina</i>	Capulí





	ASTERACEAE	<i>Baccharis floribunda</i>	Chilca
	POACEAE	<i>Zea mays</i>	Maíz
	GERANIACEAE	<i>Pelargonium zonale</i>	Geranio
	GRAMÍNEA	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Kikuyo
	ASTERACEAE	<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de León
	SOLANACEAE	<i>Solanum betaceum</i>	Tomate de árbol
	POACEAE	<i>Cortaderia nitida</i>	Sigse

	ONAGRACEAE	<i>Fushcia ampliata</i>	Flor de arete
---	------------	-------------------------	---------------








Elaborado por: Mabel Zapata

### 1.3.2 Fauna

**Tabla 2. Caracterización de la fauna del sector.**

Imagen	Familia	Nombre Científico	Nombre Común
<b>AVES</b>			
	TROCHILIDAE	<i>Colibri coruscans</i>	Colibrí
	HIRUNDINIDAE	<i>Notiochelidoncyanoleuca</i>	Golondrina común
	TURDIDAE	<i>Turdusfuscater</i>	Mirlo grande
	EMBERIZIDAE	<i>Zonotrichiacapensis</i>	Chingolo



	Columbidae	<i>Zenaida ariculata</i>	Tórtola
<b>MAMÍFEROS</b>			
	CANIDAE	<i>Canis lupus</i>	Perro
	FELIDAE	<i>Felis silvestris</i>	Gato
	BOVINAE	<i>B. primigenius</i>	Vaca
	SUIDAE	<i>S. scrofa</i>	Cerdo
	EQUIDAE	<i>E. ferus</i>	Caballo
	BOVINAE	<i>O. orientalis</i>	Oveja

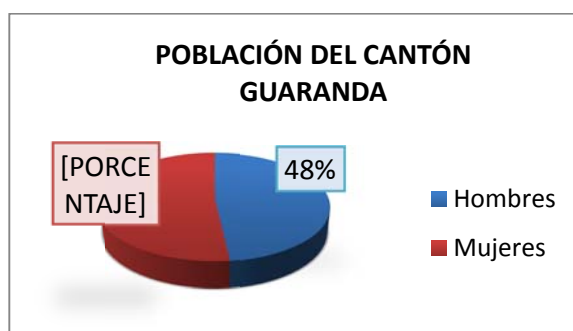
Elaborado por: Mabel Zapata

## 1.4 Medio Socioeconómico

### 1.4.1 Demografía

Según el Censo realizado en el año 2010, por el Instituto Nacional de Estadística y Censos, el Cantón Guaranda, tiene una población total de 91877 personas, 44343 son hombres y 47524 son mujeres.

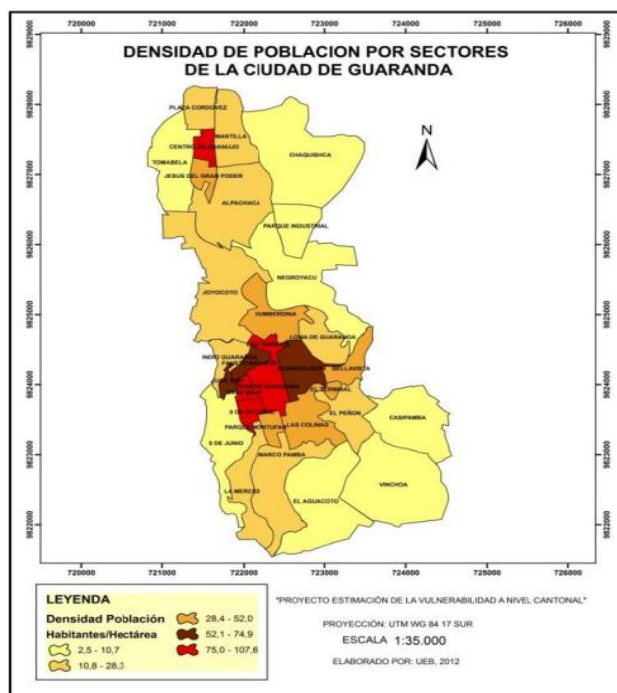
**Gráfico 1. Población del Cantón Guaranda**



Fuente: INEC, 2010.

En el área de influencia directa se cuenta con una población de 72 habitantes y en el área de influencia indirecta con una población aproximada de 200 habitantes.

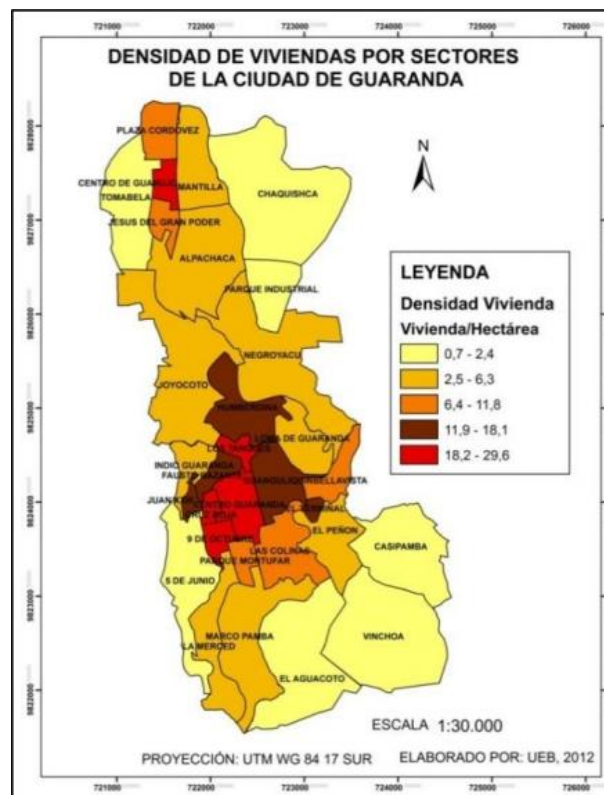
**Mapa 3. Densidad Poblacional por sectores de Guaranda**



Fuente: UEB, 2012; GAD Guaranda, 2011; INEC, 2010.

En el **Mapa 3**. Se muestra que el sector de Chaquishca cuenta con una población de 488 habitantes, presenta una densidad poblacional de 2.5.

**Mapa 4. Densidad de viviendas por sectores de Guaranda**



**Fuente:** UEB, 2012; GAD Guaranda, 2011; INEC, 2010.

En el **Mapa 4**. Se muestra que el sector de Chaquishca cuenta con 128 viviendas y una densidad de viviendas del 0.7.

**Gráfico 2. Actividades Socioeconómicas que se desarrollan en el Cantón Guaranda.**



**Fuente:** UEB, 2012; INEC, 2010.







En el **Gráfico 2**. Según datos del INEC (2010), se muestra que las principales actividades económicas del cantón son las actividades primarias de agricultura y ganadería en un 57%, que se desarrollan en el área rural, donde se concentra mayormente la población. (UEB, 2012)

**Anexo 10. Matriz de Identificación y Valoración de Impactos Ambientales (LEOPOLD), para la construcción de la PTAR del Laboratorio de Control de Calidad**




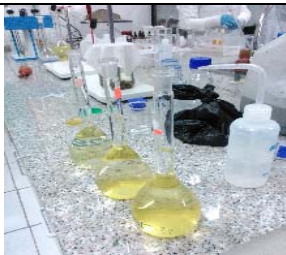

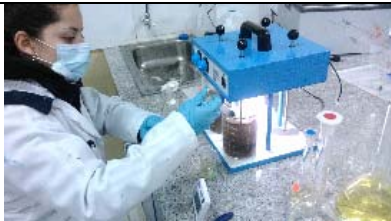
MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES (LEOPOLD) - PTAR																													
ACCIONES  FACTORES AMBIENTALES				ETAPA DE CONSTRUCCIÓN										ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO										RESULTADOS					
				Limpieza y desbroce	Replanteo y nivelación	Excavación del suelo natural	Compactado del terreno	Desalajo del material	Transporte de materiales de construcción	Ruido y vibraciones de la maquinaria pesada	Construcción de obras de concreto	Generación de Residuos Sólidos Comunes	Generación de Residuos Sólidos Peligroso	Cambio del Paisaje	Compensación e importancia del mantenimiento del sistema	Limpieza de rejillas	Mantenimiento del tanque de coagulación y sedimentación	Mantenimiento del floculador de flujo horizontal	Mantenimiento del sedimentador de alta tasa	Mantenimiento del filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)	Extracción, secado y transporte de lodos	Vertido del agua tratada al cuerpo receptor	Reutilización del agua tratada	Desarrollo de la zona	AFECTACIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	AGRAGACIÓN DE IMPACTOS	NÚMERO DE INTERACCIONES	
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	SUELO	a. Calidad del Suelo	Textura	-2	-2	-2	-4	-1	-2		-2	-2	-2											0	9	-43	9		
		Contaminación del Suelo	Uso del suelo (Prof. Máx. 3m)	-2	-3	-5	-5	-4	-4		-5		-2	-7		-1	-1	-1	-1				7	6	1	13	-95	14	
	AIRE	a. Calidad del Aire	Gases (Olores)	-3	4		-3	-3	-3	2		-2	4		-2	1	-1	-1	-1	-2				0	13	-72	13		
			Material Particulado (Polvo)	-6	5		-7	-2	-5	4		-2	4	1										0	8	-124	8		
		b. Contaminación del Aire	Ruido	-3	-3	-7	-5	-4	-4	2	-9	-2	4			-1	1							0	9	-133	9		
			Proliferación de Vectores									-2	4		-2	1	-1	-1	-1	-1				0	7	-15	7		
	AGUA	a. Calidad del Agua	Uso del Agua							-4											7	6	7	6	3	1	94	4	
		Contaminación del Agua	Recarga Cuerpo Receptor								2										7	6	7	6	2	0	84	2	
	FACTORES BIÓTICOS	FLORA	a. Vegetación Primaria	Árboles	-6	3	-3	-6	3			-3	3		-7	3							7	6	1	5	-33	6	
			b. Vegetación Secundaria	Arbustos - Hierbas	-2	1	-2	2				-3	3		-2	3									0	5	-23	5	
FAUNA		a. Migración de Especies	Aves	-6	3					-3	3	-3	-3	-5	3									0	5	-66	5		
			Animales Terrestres	-5	2	-4	-4	2		-4	3	-3	-3	-4	3									0	7	-74	7		
			Animales Acuáticos						-3	3		-3	-3	4	3						7	6	7	6	2	3	51	5	
FACTORES CULTURALES	SOCIO -ECONÓMICO	a. Usos del Terreno	Paisaje	-3	-2	-2	-2	-2	-2		-3	-2	-2	5	5	-2	1					2	4	2	10	-47	12		
			Agricultura										-3	4	7	2							7	4	2	1	30	3	
			Ganadería										-3	4	7	2							7	4	2	1	30	3	
		b. Humanos	Empleo	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7			7	7	7	7	7	7		7	4	16	0	406	16	
			Servicios Básicos							7	3					6	6	6	6	6	6	3	3	7	6	9	0	177	9
			Bienestar de la Población			2	4	3	6		7	3		3	3	7	6	6	6	6	6	6	6	6	4	14	0	254	14
			Incomodidad en la Población	-5	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-2	-3	-2		-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2			0	18	-118	18	
			Salud y seguridad laboral	-2	-2	-3	-3	-2	-2		-3					-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	6	4	2	14	-63	16
Comprobación																													
AFECTACIONES POSITIVAS			1	1	1	2	2	1	0	3	1	1	4	1	3	3	3	3	3	3	4	4	12	56					
AFECTACIONES NEGATIVAS			12	6	11	11	8	8	5	11	7	12	6	0	6	5	5	5	5	4	2	0	0		129				
AGRAGACIÓN DE IMPACTOS			-121	-32	-105	-99	-9	-46	-74	-36	-28	-92	-17	9	51	46	46	46	46	46	154	43	392			220			
NÚMERO DE INTERACCIONES			13	7	12	13	10	9	5	14	8	13	10	1	9	8	8	8	8	7	6	4	12					185	

Elaborado por: Mabel Zapata.


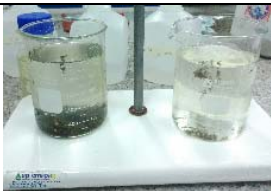




## Anexo 11. Registro Fotográfico

FOTOGRAFÍAS	
Reconocimiento del lugar	
Fachada del laboratorio de control de calidad de la EP. EMAPA-G	
Área físico-química	
Área físico-química	
Área físico-química	
Área microbiológica	
Área microbiológica	

Área de reunión	
Oficina	
Caja de revisión	
Área externa	
Fosa Séptica	
Georreferenciación	
<b>Monitoreo del caudal</b>	

Medición del caudal	
<b>Prueba de coagulación y floculación</b>	
Químicos	
Preparación de soluciones	
Soluciones	
Prueba de jarras	
Prueba de jarras	



Prueba de jarras- coagulación	
Prueba de jarras- sedimentación	
<b>Caracterización química</b>	
Medición en el fotómetro.	
Medición en el Espectrofotómetro.	
<b>Caracterización microbiológica</b>	
Filtración al vacío	
Incubadora	

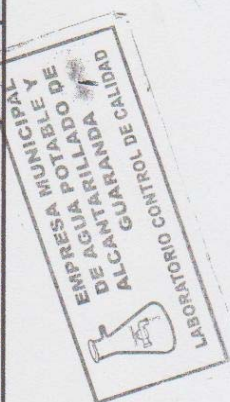
Elaborado por: Mabel Zapata



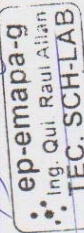
# Anexo 12. Análisis de laboratorio.

CARACTERIZACIONES FÍSICO - QUÍMICO AGUA RESIDUAL DEL LABORATORIO - SISTEMA CHAQUIHCA									
PARAMETROS	UNIDAD	MONITOREO AGUA RESIDUAL					TEST JARRAS		TEST JARRAS
		13-oct	05-nov	15-dic	15-dic	19-ene	19-ene		
COLOR	UTC	15.00	10.00	15.00	110.00	85.00	1.00		1.00
TURBIDIDAD	NTU	5.59	5.20	5.83	48.20	34.70	7.14		7.14
pH	.....	7.08	7.08	6.87	7.10	6.83	5.14		5.14
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	673.00	1120.00	572.00	298.00	292	767		767
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	256.00	340.00	283.00	162.20	146.1	383		383
TEMPERATURA	°C	15.70	15.50	14.80	15.33	15.20	16.01		16.01
NITRATOS [N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	mg/L	0.12	0.84	0.10	0.35	0.64	< 0.01		< 0.01
NITRITOS [N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ]	mg/L	0.005	0.005	0.024	0.011	0.028	0.007		0.007
FOSFATOS [P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ]	mg/L	8.96	9.42	8.64	9.01	8.54	1.86		1.86
NITRÓGENO AMONIACAL [NH <sub>3</sub> -N]	mg/L	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32		4.32
SULFATOS [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	mg/L	1.50	1.15	1.50	1.38	1.50	1.50		1.50
FLUORUROS [F]	mg/L	5.74	6.79	4.61	5.71	4.82	< 1		< 1
HIERRO TOTAL [Fe]	mg/L	0.38	0.38	0.18	0.31	0.18	0.02		0.02
MANGANESES [Mn <sup>2+</sup> ]	mg/L	0.267	0.386	0.402	0.352	0.386	0.17		0.17
CRÓMO [Cr <sup>+6</sup> ]	mg/L	0.005	0.005	0.007	0.006	0.007	0.006		0.006
COBRE [Cu]	mg/L	0.36	< 0.01	0.36	0.36	0.36	0.14		0.14
DUREZA TOTAL [CaCO <sub>3</sub> ]	mg/L	.....	.....	.....	.....	.....	.....		.....
ALUMINIO [Al <sup>3+</sup> ]	mg/L	0.027	0.046	0.032	0.035	0.032	0.002		0.002
CLORUROS [Cl <sup>-</sup> ]	mg/L	85.63	80.47	92.67	86.26	92.67	20.16		20.16
NIQUEL [Ni]	mg/L	0.197	0.368	0.326	0.297	0.326	0.020		0.020
COBALTO [Co]	mg/L	1.456	1.627	1.506	1.530	1.506	0.120		0.120
PLÓMO [Pb <sup>2+</sup> ]	mg/L	0.77	0.77	1.97	1.17	0.77	< 0.01		< 0.01
ZINC [Zn <sup>2+</sup> ]	mg/L	0.62	0.62	0.10	0.45	0.62	< 0.10		< 0.10
PLATA [Ag <sup>+</sup> ]	mg/L	0.49	0.49	0.20	0.39	0.49	< 0.20		< 0.20
CIANURO [CN <sup>-</sup> ]	mg/L	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	< 0.02		< 0.02
BARIO [Ba <sup>2+</sup> ]	mg/L	2.00	1.95	3.26	2.40	2.40	1.85		1.85
BROMO [Br <sup>-</sup> ]	mg/L	0.42	0.51	0.46	0.46	0.46	0.36		0.36
MOLIBDENO [Mo <sup>6+</sup> ]	mg/L	5.40	5.83	5.67	5.63	5.63	4.33		4.33
CRÓMO TOTAL [Cr]	mg/L	0.027	0.140	0.125	0.097	0.10	0.07		0.07
OXÍGENO DISUELTO [O <sub>2</sub> ]	mg/L	.....	.....	.....	.....	.....	.....		.....
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	.....	.....	.....	.....	.....	.....		.....
COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	.....	.....	.....	.....	.....	.....		.....


FUENTE: Laboratorio de control de calidad E.P - EMAPA-G



Ing. Qui Raul Allan  
TECNICO LABORATORIO - PLANTA E.P EMAPA-G





 <p>SGC</p>	<p align="center"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p align="center"><b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN</b></p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 3013183 ESPOCH (FACULTAD DE CIENCIAS) RIOBAMBA - ECUADOR</p>	 <p>LABORATORIO DE ENSAYOS N° OAE LE 2C 06-008</p>
--	---	---

<b>INFORME DE ENSAYO No:</b>	2047
<b>ST:</b>	14 – 800 ANÁLISIS DE AGUAS
<b>Nombre Peticionario:</b>	EP - EMAPAG
<b>Atn.</b>	Ing. Raúl Allán
<b>Dirección:</b>	García Moreno y 7 de Mayo.
<b>FECHA:</b>	05 de Noviembre del 2014
<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b>	1
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b>	2014/10/23 – 15:30
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	2014/10/23 – 11:00
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	2014/10/23 – 2014/11/05
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua Residual
<b>CÓDIGO LABCESTTA:</b>	LAB-A 2016-14
<b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b>	EMAPAG
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Descarga del laboratorio EMAPA-G
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b>	Físico – Químico
<b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b>	Mabel Zapata
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:</b>	T máx.: 25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Demanda Química de Oxígeno	PEE/LABCESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	803	±5%	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/LABCESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	350	±15%	-
*Oxígeno disuelto	PEE/LABCESTTA/45 Standard Methods No. 4500 – O G	mg/L	1,33	-	-
Sólidos Suspendidos	PEE/LABCESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D	mg/L	<50	±20%	-
Turbidez	PEE/LABCESTTA/43 EPA 180.1	UNT	39,1	±8%	-
Conductividad eléctrica	PEE/LABCESTTA/06 Standard Method No. 2510 B	uS/cm	1140	±5%	-
Sólidos totales disueltos	PEE/LABCESTTA/11 Standard Methods No. 2540 C	mg/L	556	±11%	-
Potencial Hidrógeno	PEE/LABCESTTA/05 Standard Method No. 4500-H <sup>+</sup> B	Unidades de pH	6,35	±0,10	-



SGC

**CENTRO DE SERVICIOS  
TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA  
TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**LABORATORIO DE ANÁLISIS  
AMBIENTAL E INSPECCIÓN**

Panamericana Sur Km. 1 ½  
Telefax: (03) 3013183  
ESPOCH (FACULTAD DE CIENCIAS)  
RIOBAMBA - ECUADOR



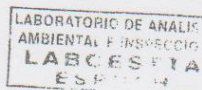
**LABORATORIO DE  
ENSAYOS**  
N° OAE LE 2C 06-008

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
**Dr. Mauricio Álvarez**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



## Anexo 13. Fichas Técnicas de Químicos

JP QUIMICA S.C.C.

Via Amaguaña, Molinos de Viento- Calle Sancho Panza s/n -Sangolquí

CAL T-30

### BOLETIN TECNICO

#### CAL T-30 (Especial)

##### Descripción

La Cal T-30 especial es un producto resultante de la calcinación y posterior hidratación del Carbonato de calcio, conocido como Hidróxido de calcio o cal hidratada, posee agregados que mejoran su desempeño en la regulación del PH.

La Cal T-30 especial proviene de una materia prima con una concentración aproximada del 96% de Carbonato de calcio.

La Cal T-30 especial viene en presentación de 25 Kg. o 50 Kg. en saco plástico laminado

##### Aplicaciones

La Cal T-30 se usa en tratamiento de agua potable, regulación del PH, tratamiento de suelos, acuicultura, curtiembre, alimentos, tratamiento de residuos, tratamiento de aguas residuales, etc.

##### Características físicas

Color blanco  
Tamaño fino de partícula  
Malla 200

##### Especificaciones técnicas

Hidróxido de calcio	> 70%
Densidad aproximada	0,65 gramos/cm <sup>3</sup> .

- La granulometría puede variar en función del requerimiento del cliente.



## BOLETIN TÉCNICO FLOCULANTE C - 25

### BENEFICIOS DEL PRODUCTO:

- En el proceso de clarificación, Este producto es diseñado para facilitar y acelerar la aglomeración de floculo fino a floculo mas grande.
- No causa incrustaciones ni taponamientos de filtros.
- Los floculantes dan lugar a reacciones reversibles, es decir, si se rompe el floculo, los segmentos de la molécula del polímero hacen una floculación secundaria.
- No son corrosivos en concentraciones de dosificación.

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Producto presentación original

Color:	Blanco
Apariencia:	Granular
Forma:	Sólido
Olor:	Ninguno

- Es una formulación de polímeros orgánicos aniónicos (poliacrilamidas), diseñada para aplicarse en dilución acuosa-

JP QUIMICA S.C.C.

Via Amaguaña, Molinos de Viento- Calle Sancho Panza s/n -Sangolquí

## FLOCULANTE C-25

### DOSIS:

- La dosis del Floculante C-25 generalmente está en el rango de 0.05 a 15 ppm .

### ALIMENTACIÓN:

- Debe aplicarse a la línea de agua después de la coagulación en solución acuosa al 0.05%.

### MANEJO:

- Se recomienda el uso de guantes de caucho y de anteojos de seguridad.
- Puede causar irritación a la piel y a los ojos por lo que hay que evitar el contacto prolongado o repetido con la piel.

### ALMACENAMIENTO:

- Almacene el producto en su forma original, fundas plásticas en un lugar cubierto y seco. Una vez abierta la funda evitar el contacto con agua a no ser que se vaya a realizar la mezcla a inyectarse.
- El producto en solución pasados los 30 días va perdiendo efectividad,
- No es explosivo ni corrosivo.

### PRESENTACIÓN:

- Fundas plásticas de 25 Kg presentación en sólido.
- Tanques de 220 Kg, presentación en solución 0.05%



## BOLETIN TECNICO PAC -P25A

### BENEFICIOS:

- Policloruro de Aluminio utilizado para clarificar agua, para consumo.
- Es totalmente soluble en agua. No ocasiona taponamientos, ni incrustaciones.
- Reemplaza el uso de alumbre y otros coagulantes inorgánicos.
- Efectivo en aguas con alta y baja turbidez.
- Resistente al cloro, puede usarse en sistema con pre-cloración, sin reducción en su actividad.
- Rango de pH en el que la eficiencia del producto es óptima entre: 8,5 – 12.0

### USOS PRINCIPALES:

- Es una formulación de polímeros orgánicos e inorgánicos diseñado para clarificar agua de alta y baja turbidez con PH alcalino.
- Funciona extrayendo los sólidos que se encuentran suspendidos en el agua, por procesos de coagulación.
- Trabaja con el uso adicional de un floculante orgánico para dar peso suficiente al flóculo formado por la aglomeración de varios coloides para asentarse con la rapidez deseada.

### CARACTERÍSTICAS:

Apariencia:	Líquido ligeramente marrón
Grav. Esp. A 25°C:	1.24 $\pm$ 0.01
PH puro:	Menor a 1
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	12.0 – 18.0

**DOSIS:**

La dosis del PAC – P25A en general está en función de la turbidez y pH del agua, pudiendo variar entre 20 a 350 ppm en la potabilización de agua; para determinar la dosis óptima se requiere aplicar el Producto diluido hasta que el agua se encuentre en un rango entre: 6,8 a 6,5 observando el punto de mejor clarificación por el tamaño y peso del floculo. Se debe evitar la sobredosificación porque el exceso de químico en el agua genera lodo muy liviano y el pH baja rápidamente, lo que puede producir agua muy ácida si no existe adecuado control.

**APLICACIÓN:**

- Debe aplicarse a la línea de agua en su forma original o en dilución dependiendo de las dosis y el Caudal a tratar.
- Para su máxima eficiencia se inyecta a una distancia prudencial del clarificador y en agua pre-clorada.

**MANEJO:**

- Se recomienda el uso de guantes de caucho y de anteojos de seguridad.
- Puede causar irritación a la piel y a los ojos por lo que hay que evitar el contacto prolongado o repetido con la piel.

**ALMACENAMIENTO:**

- Almacene el producto en recipientes plásticos cerrados.
- No es explosivo.
- Manténgase alejado del personal no autorizado.

**SUMINISTRO:**

- Se suministra en tambores plásticos de 250 Kg. peso neto.
- Se suministra en canecas de 30 Kg o 40 Kg Peso neto.



## Ficha Técnica – Hipoclorito de Calcio



- Fabricante: Arch Chemicals, Inc.
- Nombre Químico: Hipoclorito de calcio al 68%
- Fórmula Química:  $\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Numero CAS: 7778-54-3
- Propiedades Físicas y Químicas

Parámetro	Especificaciones
Apariencia	Blanco, polvo o en tabletas
Olor	Parecido al cloro
Solubilidad en agua	18% a 25°C
Humedad	< 16%
pH	10.4 - 10.8 (solución al 1% en agua destilada neutral a 25°C)
Densidad	0.8 g/cc (Granular) 1.9 g/cc (Tabletas)

- Composición

Nombre	Especificaciones	Peso Típico
Cloro libre	65 – 80%	68%
Cloruro de Sodio, NaCl	10 – 20%	17%
Clorato de Calcio, $\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2$	0 – 5%	1.4%
Cloruro de Calcio, $\text{CaCl}_2$	0 – 5%	0.5%
Carbonato de Calcio, $\text{CaCO}_3$	0 – 5%	2.3%
Hidróxido de Calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$	0 – 4%	1.64%
Agua	5.5 – 8.5	
Insolubles	<5% w/w	

## Ficha Técnica – Hipoclorito de Calcio



Parámetro	Arch Product
Arsénico (As)	< 1 mg/kg
Cadmio (Cd)	< 1 mg/kg
Cromo (Cr)	< 8 mg/kg
Hierro (Fe)	< 300 mg/kg
Manganeso (Mn)	< 10 mg/kg
Mercurio (Hg)	< 1 mg/kg
Níquel (Ni)	< 8 mg/kg
Plomo (Pb)	< 1 mg/kg
Antimonio (Sb)	< 2 mg/kg
Selenio (Se)	< 2 mg/kg
Ion Bromato ( $\text{BrO}_3^-$ )	< 121 mg/Kg
Ion Clorato ( $\text{ClO}_3^-$ )	< 21.1 g/Kg

### • Precauciones Para El Manejo, Transporte Y Almacenaje Seguro Del Producto

1. Manténgase herméticamente cerrado en los contenedores originales.
2. Almacénese en un área fresca, seca y bien ventilada.
3. Almacénese lejos de productos inflamables o combustibles.
4. Mantenga el empaque del producto limpio y libre de toda contaminación, incluyendo, por ejem., otros productos para el tratamiento de albercas, ácidos, materiales orgánicos, compuestos que contengan nitrógeno, extintores de fuego de arenilla carbónica (que contengan fosfato monomaniaco), oxidantes, todo líquido corrosivo, materiales inflamables o combustibles, etc.
5. NO SE ALMACENE A TEMPERATURAS SUPERIORES A: 52 Grados C. (125 Grados F.) Almacenarlo arriba de estas temperaturas pudiera resultar en una descomposición rápida, evolución de gas de cloro y suficiente calor para encender productos combustibles.

### • Primeros Auxilios

- EN CASO DE INHALACIÓN: Traslade a la persona a un lugar donde haya aire fresco. Si la persona no respira, llame a una ambulancia, luego dele respiración artificial, preferiblemente, boca a boca, si es posible. Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico para solicitar más consejos sobre el tratamiento.
- EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL O LA ROPA: Quítese la ropa contaminada. Enjuague la piel inmediatamente con mucha agua de 15 a 20 minutos. Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico para solicitar consejos sobre el tratamiento.



## Ficha Técnica – Hipoclorito de Calcio



- EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Mantenga el ojo abierto y enjuágueselo lenta y suavemente con agua de 15 a 20 minutos. Si tiene lentes de contacto, quíteselos después de los primeros 5 minutos y luego continúe enjuagando. Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico para solicitar consejos sobre el tratamiento.
- Ingestión: EN CASO DE INGESTION: Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico inmediatamente para solicitar consejos sobre el tratamiento. Pida a la persona que beba a sorbos un vaso de agua si puede tragar. No induzca el vómito, a menos que un centro de control de intoxicaciones o un médico se lo indique. No dé nada por la boca a una persona que haya perdido el conocimiento.
- Notas para el médico: El probable daño a las mucosas puede ser una contraindicación para el uso de lavado gástrico

### • Preparación de Soluciones de Cloro

Las soluciones de HTH® Cloro Seco deben prepararse en contenedores de polietileno limpios. Primero ponga el volumen requerido de agua. Después agregue la cantidad requerida de HTH® Cloro Seco al agua. Agite con un agitador de madera o metal limpio, asegurándose de mantenerlo lejos de la ropa, piel o ojos. La solución resultante se puede colocar en otro contenedor o puede alimentarse de ese mismo contenedor, siempre y cuando la entrada de la línea a la bomba de alimentación química, este por arriba del nivel de los insolubles asentados.

Cloro Disponible	Volumen de Agua en Litros										
	100	180	300	400	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000
PPM	Gramos de HTH Cloro Seco Requeridos										
0.5	0.08	0.14	0.23	0.31	0.38	0.77	1.54	2.31	3.08	3.85	0.77
1	0.15	0.28	0.46	0.62	0.77	1.54	3.08	4.62	6.15	7.69	1.54
5	0.77	1.38	2.31	3.08	3.85	7.69	15.38	23.08	30.77	38.46	7.69
10	1.54	2.77	4.62	6.15	7.69	15.38	30.77	46.15	61.54	76.92	15.4
15	2.31	4.15	6.92	9.23	11.54	23.08	46.15	69.23	92.31	115.4	23.1
20	3.08	5.54	9.23	12.31	15.38	30.77	61.54	92.31	123.1	153.8	30.8
25	3.85	6.92	11.54	15.38	19.23	38.46	76.92	115.4	153.8	192.3	38.5
30	4.62	8.31	13.85	18.46	23.08	46.15	92.31	138.5	184.6	230.8	46.2
40	6.15	11.08	18.46	24.62	30.77	61.54	123.1	184.6	246.2	307.7	61.5
50	7.69	13.85	23.08	30.77	38.46	76.92	153.8	230.8	307.7	384.6	76.9
60	9.23	16.62	27.69	36.92	46.15	92.31	184.6	276.9	369.2	461.5	92.3
70	10.77	19.38	32.31	43.08	53.85	107.7	215.4	323.1	430.8	538.5	108
80	12.31	22.15	36.92	49.23	61.54	123.1	246.2	369.2	492.3	615.4	123
90	13.85	24.92	41.54	55.38	69.23	138.5	276.9	415.4	553.8	692.3	138
100	15.38	27.69	46.15	61.54	76.92	153.8	307.7	461.5	615.4	769.2	154

## Ficha Técnica – Hipoclorito de Calcio



- País de Origen: El hipoclorito de calcio es fabricado en nuestra planta ubicada en Charleston, Tn. en los Estados Unidos de América.
- Presentaciones
  - HTH Granular tambores de 45 Kgs.
  - HTH Briquettes tambores de 45 Kgs.
    - Dimensiones: Aproximadamente 35 x 24 x 12 mm.
    - Peso: 6.4 – 7.0 gramos
  - CCH Tableta de 3" cubetas de 50 lbs.
    - Inhibidor (% en peso): 0.5% mínimo
    - Peso: Aproximadamente 300 gramos
    - Diámetro: Aproximadamente 3.0 pulgadas
    - Altura: 1.35 – 1.45 pulgadas
- Regulatorio:
  - EPA No. 1258-1179
  - NSF Standard 60, Drinking Water Additives
  - Cumple con AWWA Standard B300
  - Cumple con NMX-AA-124-SCFI-2006
  - UN2880 para HTH Granular y CCH Tableta de 3"
  - UN1748 para HTH Briquettes

Cloro (Cl <sub>2</sub> )	65 – 67%	65%
Cloruro de sodio (NaCl)	30 – 32%	3.2%
Carbonato de Calcio (CaCO <sub>3</sub> )	3 – 5%	3.4%
Cloruro de Calcio (CaCl <sub>2</sub> )	0 – 2%	0.5%
Carbonato de Calcio (CaCO <sub>3</sub> )	0 – 5%	1.5%
Hidróxido de Calcio (Ca(OH) <sub>2</sub> )	0 – 4%	1.44%
Agua	5.5 – 6.5	
Impurezas	4.0% máximo	

## **Anexo 14. Manual De Operación y Mantenimiento Para la Planta De Tratamiento de Aguas Residuales del Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. OBJETIVO .....	197
2. ALCANCE.....	197
3. RESPONSABILIDADES.....	197
4. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	197
5. PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO .....	197
6. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES.....	198
7. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO .....	199
8. MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN.....	200
APÉNDICE.....	202

## **1. OBJETIVO**

El objetivo de este manual es mantener en óptimo funcionamiento la Planta de Tratamiento de Agua Potable para el Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G. Estableciendo una metodología para el mantenimiento y operación de PTAR y asegurar el cumplimiento con la normativa ecuatoriana vigente, TULSMA, libro VI: Calidad Ambiental, Anexo 1: Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, Tabla 12.

## **2. ALCANCE**

Abarca al personal a cargo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

## **3. RESPONSABILIDADES**

El técnico a cargo o jefe del departamento, tiene la responsabilidad de supervisar el correcto funcionamiento de los componentes físicos de la planta de tratamiento, debe dirigir la aplicación de correcciones preventivas y correctivas.

El personal operativo, tiene la responsabilidad de realizar el mantenimiento y control de la operación de cada componente de la planta de tratamiento.

## **4. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

**4.1 Verificación periódica.** Encuentra algún tipo de problema o inconveniente mediante una revisión de las unidades de tratamiento, se realizará diariamente. Se realizará la caracterización del afluente y efluente, para verificar la eficiencia o rendimiento de la planta de tratamiento.

**4.2 Mantenimiento periódico.** Consiste en el arreglo de unidades de tratamiento, remoción de componentes que obstruyan el proceso de tratamiento y de residuos del proceso.

### **5.3 Herramientas de mantenimiento**

- Palas
- Rastrillo
- Varilla de acero
- Manguera y baldes
- Carretilla
- Azadón
- Escoba y cepillos de plástico

## **5. PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

Trata de la sustitución de tuberías por roturas y/o obstrucciones, raspado y pintado en puntos de corrosión. El mantenimiento se realizará en periodos anuales y en momentos emergentes.

## **6. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES**

### **6.1 Rejillas**

Se encuentran ubicadas en la caja de revisión del laboratorio, cuenta con las siguientes dimensiones de ancho de: 0.40m, barras de acero con un espesor de 0.0127 m, separación entre barras de 0.02 m, las rejillas se conectan al siguiente componente con una tubería PVC de 90 mm.

### **6.2 Tanque de almacenamiento y coagulación**

El tanque de almacenamiento y coagulación, tiene un diámetro de 2m, un volumen de  $5\text{m}^3$ , en su interior cuenta con un agitador removible de seis paletas.

### **6.3 Floculador de flujo horizontal**

Es un tanque de 2.5m de longitud por 2.80m de ancho, constituido por 2 secciones, con una profundidad de pendiente en cada sección de 0.15 m.

### **6.4 Sedimentador de alta tasa**

Las medidas de la estructura son: de 4m de longitud por 2m de ancho, 1m de la longitud que ocupan las placas, la sección para la acumulación de sedimentos tiene un ángulo de  $60^\circ$ .

### **6.5 Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)**

Son dos unidades de filtración cada una con las siguientes medidas: 6m de longitud, 3m de ancho, cuenta con una profundidad útil de 1.80, el material filtrante es grava, la altura total de la cámara es de 2.10 m

### **6.6 Eras de secado**

Es una estructura básica de: 2m por 0.30m, se encuentra dividida en dos secciones, aquí llegan los lodos resultantes del tratamiento.

### **6.7 Tanque de desinfección**

Es un tanque cuadrado de: 1m de longitud por 0.50m de ancho y una profundidad de 1.30 m.

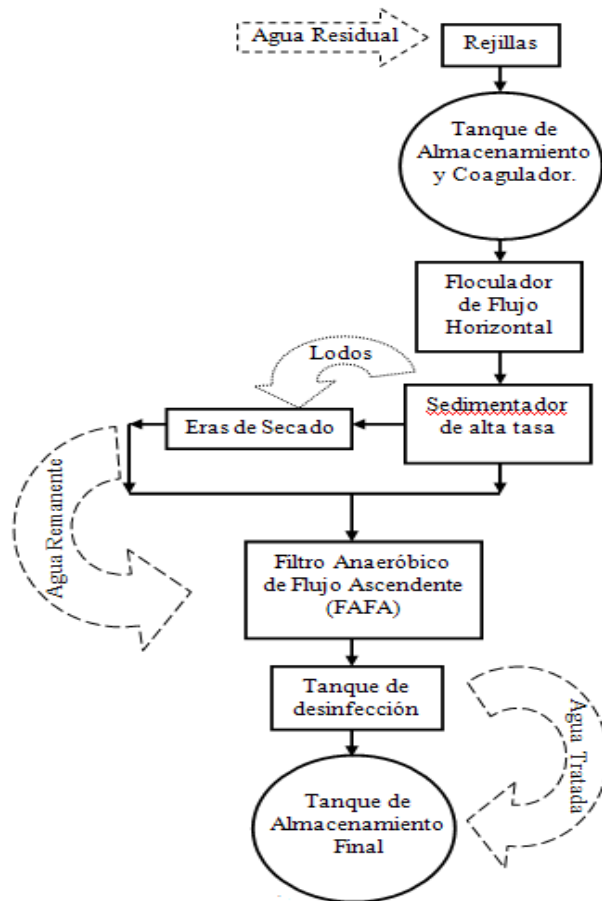
### **6.8 Tanque de almacenamiento final**

Es el tanque para almacenar temporalmente el agua después del tratamiento, tiene 2m de diámetro y un volumen de  $5\text{m}^3$ .



## 7. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO

Figura 1. Diagrama de la Planta de Tratamiento



El tratamiento inicia con el paso del agua residual por un sistema de rejillas, instalada en una caja de revisión, estas se van a encargar de retener los sólidos de tamaños medianos y grandes. Luego el agua residual pasa a un tanque de almacenamiento, donde después de alcanzar un volumen adecuado comienza el proceso de coagulación, por el adiciónamiento de coagulante y el movimiento del agitador de seis paletas; este proceso va a permitir que un porcentaje de sustancias indeseables se unan formando pequeñas partículas. Posteriormente el agua residual pasa al floculador de flujo horizontal, donde las partículas van a formar “flocs” o flóculos, por la adición de un floculante. Después pasa al sedimentador de alta tasa, donde los contaminantes se precipitan y forman lodos. Para continuar con la remoción de contaminantes, el agua residual para al filtro anaeróbico de flujo ascendente, seguidamente pasa a un tanque de desinfección para anular organismos patógenos, finalmente para a un tanque de almacenamiento para su posterior reutilización para limpieza en áreas externas. En los procesos se generan lodos, especialmente en el sedimentador, estos lodos pasan a las eras de secado para ser deshidratados y utilizados finalmente para acondicionamiento de suelos (no cultivables).

## **8. MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN**

### **8.1 Rejillas.**

El mantenimiento de las rejillas, consiste en una limpieza manual de material sólido retenido. Para esta limpieza se emplea el uso de rastrillos, para el efluente del laboratorio no se espera gran cantidad de sólidos retenidos en las rejillas, pero si se recomienda una revisión semanal en la caja de revisión, donde se encuentran las rejillas.

### **8.2 Tanque de Almacenamiento y Coagulación.**

Se recomienda la limpieza mensual del agitador removible de seis paletas, la parte interior del tanque contará con un sistema de medida del nivel de agua, para cuando el volumen alcance 5 m<sup>3</sup> el proceso de coagulación inicia. La unidad debe contar con dos válvulas de compuerta una para el paso el agua tratada y la otra de seguridad para el desfogue.

Se deben engrasar mensualmente las piezas mecánicas de las válvulas.

Es importante que se tengan en cuenta los criterios de dosificación y el tiempo óptimo de mezcla, para seguidamente abrir la válvula y que el agua pase a la siguiente unidad de tratamiento.

### **8.3 Floculador de flujo horizontal**

Para el floculador se puede trabajar con el caudal hasta con nueve vueltas abierta la válvula de compuerta de la unidad anterior, se debe considerar el tiempo de retención del agua.

La limpieza de sus pantallas se realizará cada seis meses, con una escoba o cepillo plástico.

Se debe revisar y engrasar mensualmente las dos válvulas de compuerta, la del paso el agua tratada y la otra de seguridad para el desfogue.

### **8.4 Sedimentador de alta tasa**

El sedimentador puede trabajar con el caudal hasta con nueve vueltas abierta la válvula de compuerta de la unidad anterior, se debe considerar el tiempo de retención del agua.

La limpieza de sus pantallas se realizará cada seis meses, con una escoba o cepillo plástico.

Se debe revisar y engrasar mensualmente las dos válvulas de compuerta, la del paso el agua tratada y la otra que conecta con las eras de secado, para la deshidratación de los lodos productos de la sedimentación.

### **8.5 Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)**

El caudal ingresa por la parte inferior del filtro, se recomienda que el caudal con el que se trabaje sea el que pasa con media vuelta abierta la válvula de compuesta. El tiempo de retención es de un día, por lo que se debe tener cerrada la válvula de compuerta para retener o permitir el paso del agua a la siguiente unidad.

La grava tiene que ser lo más irregular posible para que la carga microbiana se adhiera de mejor manera, cuenta también con un falso fondo para evacuar los lodos producidos en el proceso.

Se debe monitorear la salida de gases, temperatura y pH, debe realizarse cada día de operación. La limpieza del filtro se realizará cada seis meses y cada dos años la limpieza implica la remoción de una capa superficial del filtro de 2 cm de espesor.

#### **8.6 Eras de secado**

Los lodos producto del proceso de sedimentación, van directo a las eras de secado, para su deshidratación, esta etapa trabaja en condiciones de carga máxima y carga mínima. Debe contar con un control de olores, del nivel de lodos, mediante una varilladle hierro, el tiempo de retención es de 55 días, se debe controlar que no se desarrolle flora y fauna nociva. Su limpieza se realizará con palas y una carretilla.

#### **8.7 Tanque de desinfección**

Se recomienda que se trabaje con el caudal que pasa con cuatro vueltas abierta la válvula de compuerta de la unidad anterior. Se utiliza hipoclorito de calcio como desinfectante, su dosificación debe ser controlada en función a los parámetros de dosificación.

Su limpieza se debe realizar cada seis meses, con una escoba o cepillo plástico.

#### **8.8 Tanque de Almacenamiento final**

Su limpieza se realizará cada año, con una escoba de plástico.

Se guarda el agua tratada para su posterior reutilización, puede usarse para: el lavado de instalaciones de la empresa, bordillos, tanques, y riego de jardines.

## APÉNDICE

### A. Ficha de Registro para la Extracción de Lodos

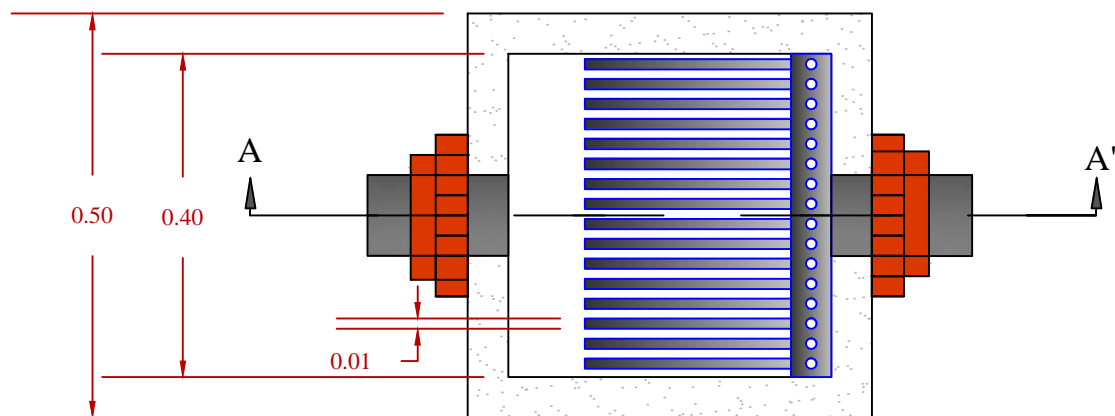
		<b>REGISTRO DE EXTRACCIÓN DE LODOS</b>			<b>N°</b>
<b>Razón:</b>		<b>Fecha:</b>			
<b>Responsable:</b>		<b>Dirección:</b>			
<b>Componente de la Planta:</b>					
<b>Código</b>	<b>Cantidad de lodos extraídos (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>N° de Fotografía</b>	<b>Disposición final</b>	
<b>Observaciones:</b>					
<b>Responsable técnico</b>					
<b>Nombre:</b>					
<b>Firma:</b>					

### B. Ficha de Registro de Operación de Componentes

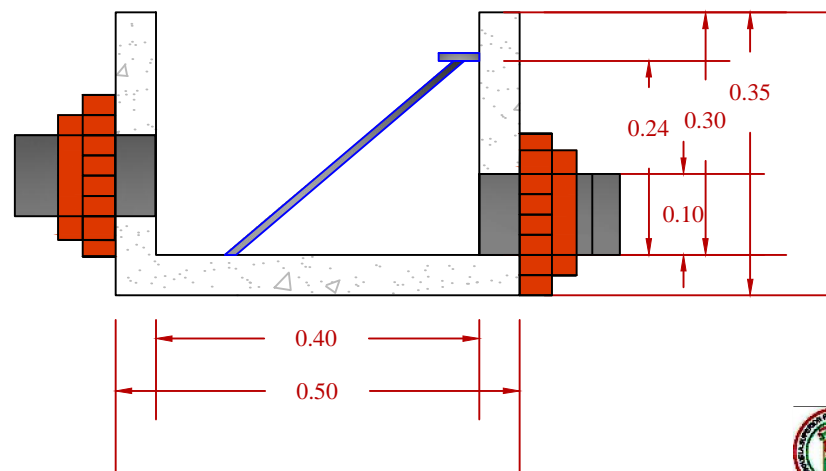
		<b>REGISTRO DE OPERACIÓN DE COMPONENTES</b>			<b>N°</b>
<b>Razón:</b>		<b>Fecha:</b>			
<b>Responsable:</b>		<b>Dirección:</b>			
<b>Componente de la Planta:</b>					
<b>Código</b>	<b>Hora</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Turbiedad efluente (NTU)</b>	<b>N° de Fotografía</b>	

<b>Observaciones:</b>				
<b>Responsable técnico</b>				
<b>Nombre:</b>				
<b>Firma:</b>				

## **Anexo 15. Planos**



VISTA PLANTA

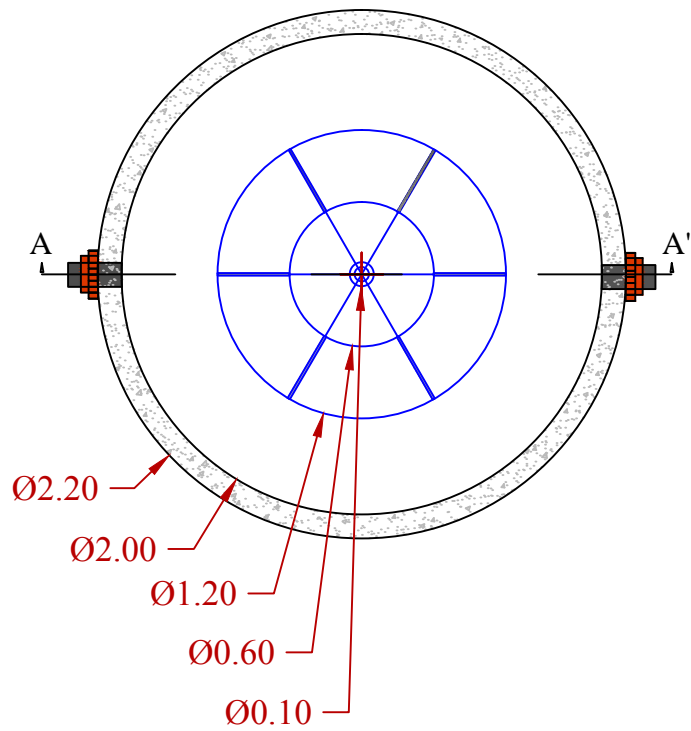


CORTE A-A'

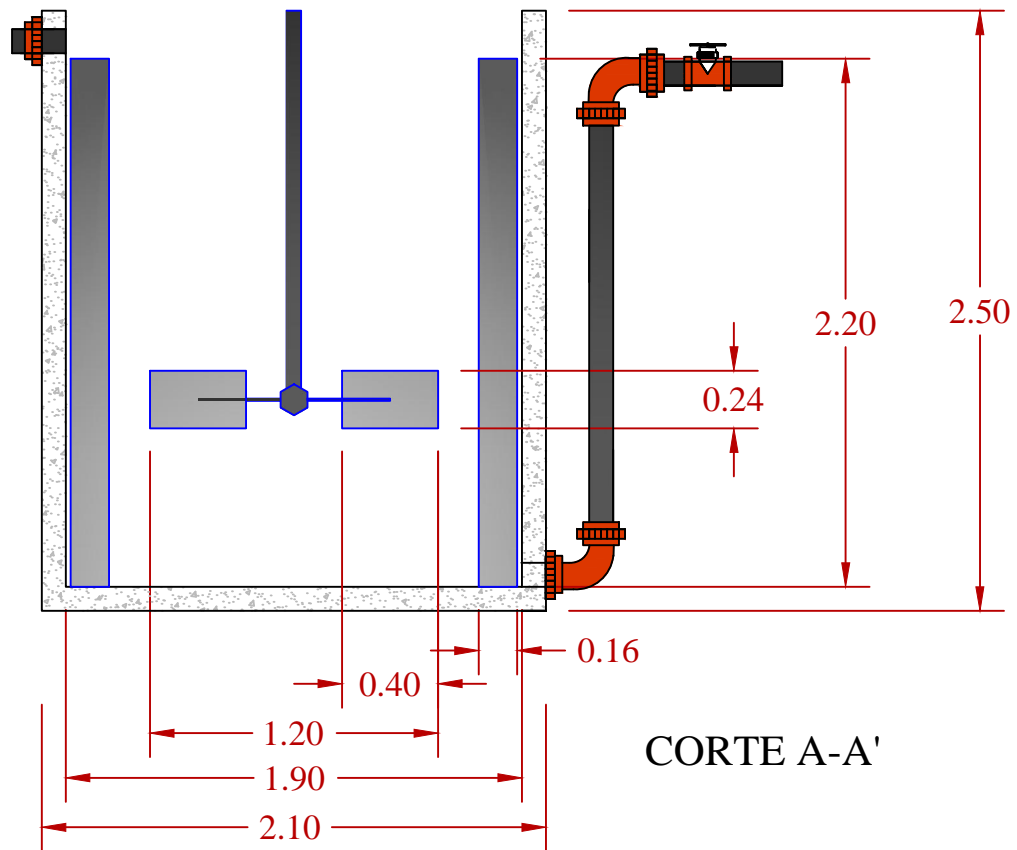


Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G

CONTIENE: Rejillas Vista Planta y Corte A-A'		
REALIZADO POR: Mabel Zapata	REVISADO POR: Dr. GERARDO LEÓN	REVISADO POR: Dr. ROBERT CAZAR
ESCALA:	FECHA:	LÁMINA: 1/10



VISTA PLANTA



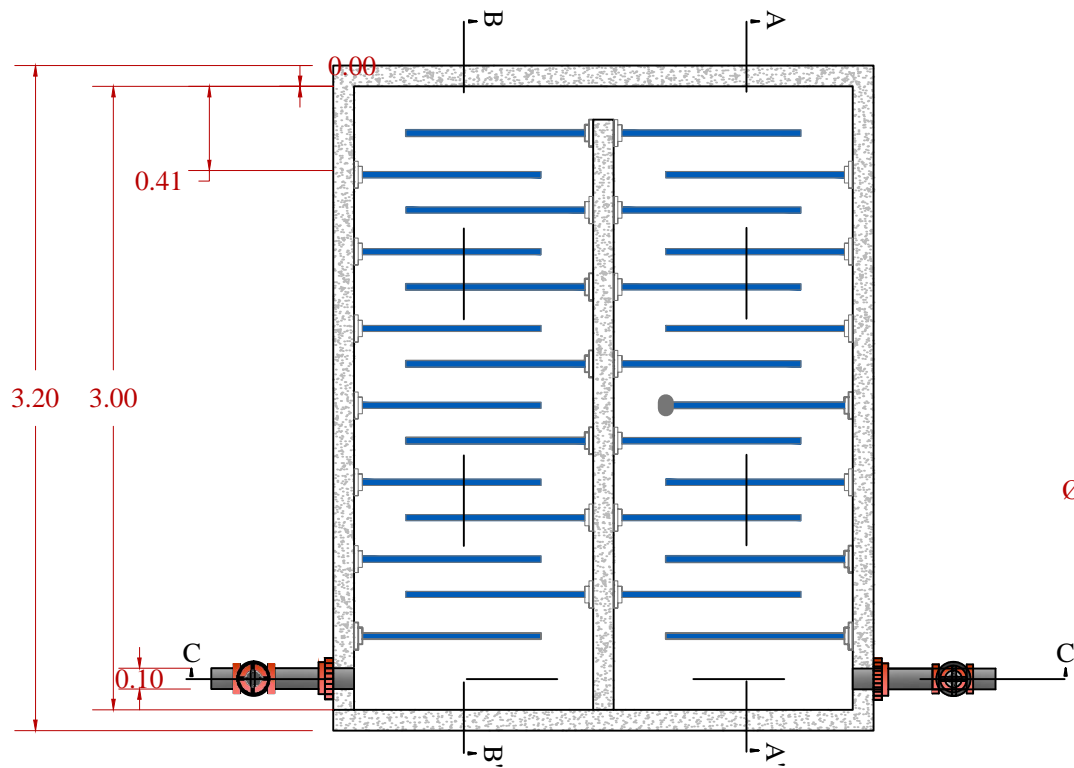
CORTE A-A'



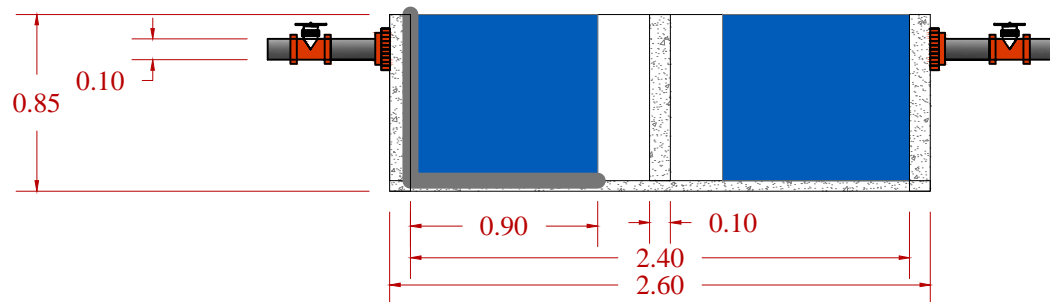
Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G

CONTIENE: Tanque de Almacenamiento y Coagulador Vista Planta y Corte A-A'		
REALIZADO POR: Mabel Zapata	REVISADO POR: Dr. GERARDO LEÓN	REVISADO POR: Dr. ROBERT CAZAR
ESCALA:	FECHA:	LAMINA: 2/10

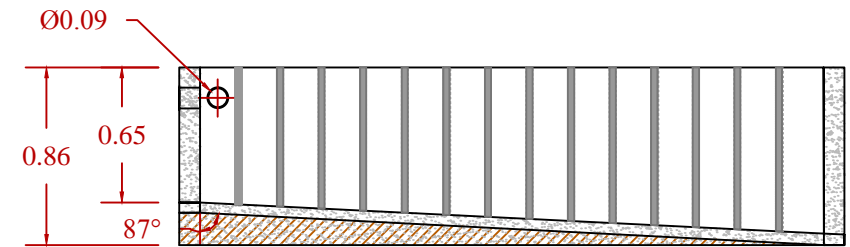




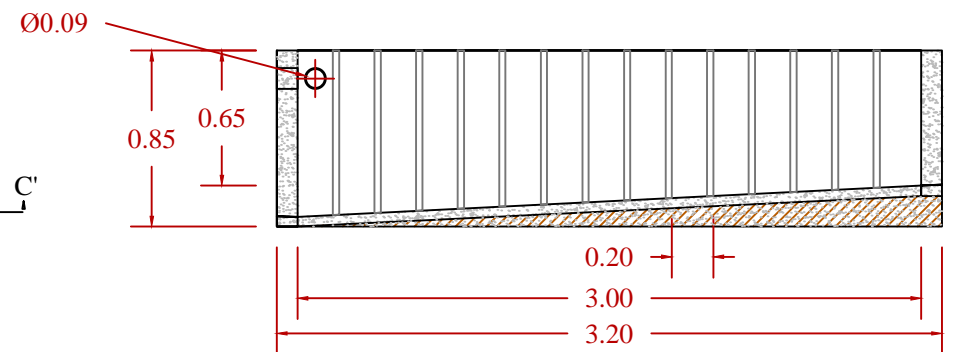
VISTA PANTA



CORTE C-C'



CORTE A-A'

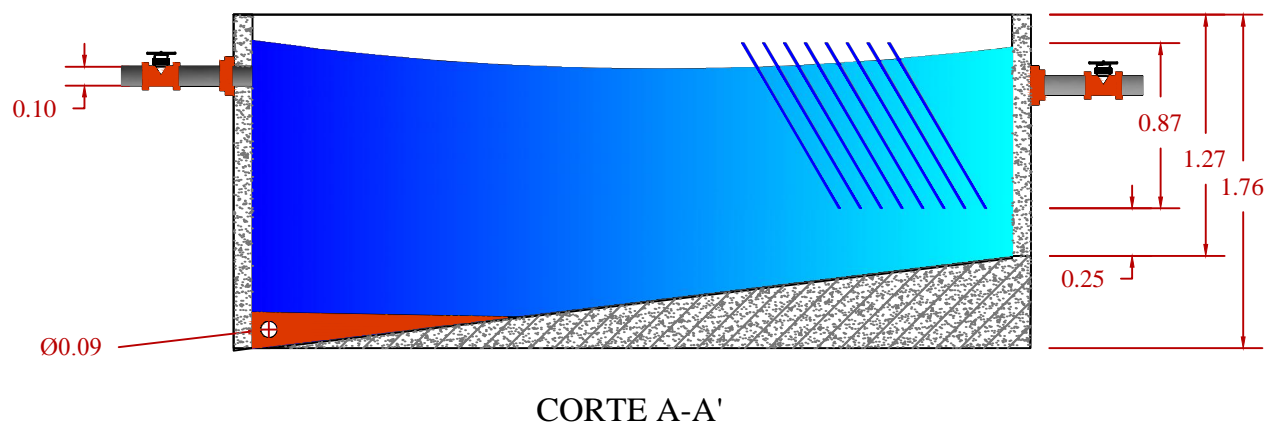
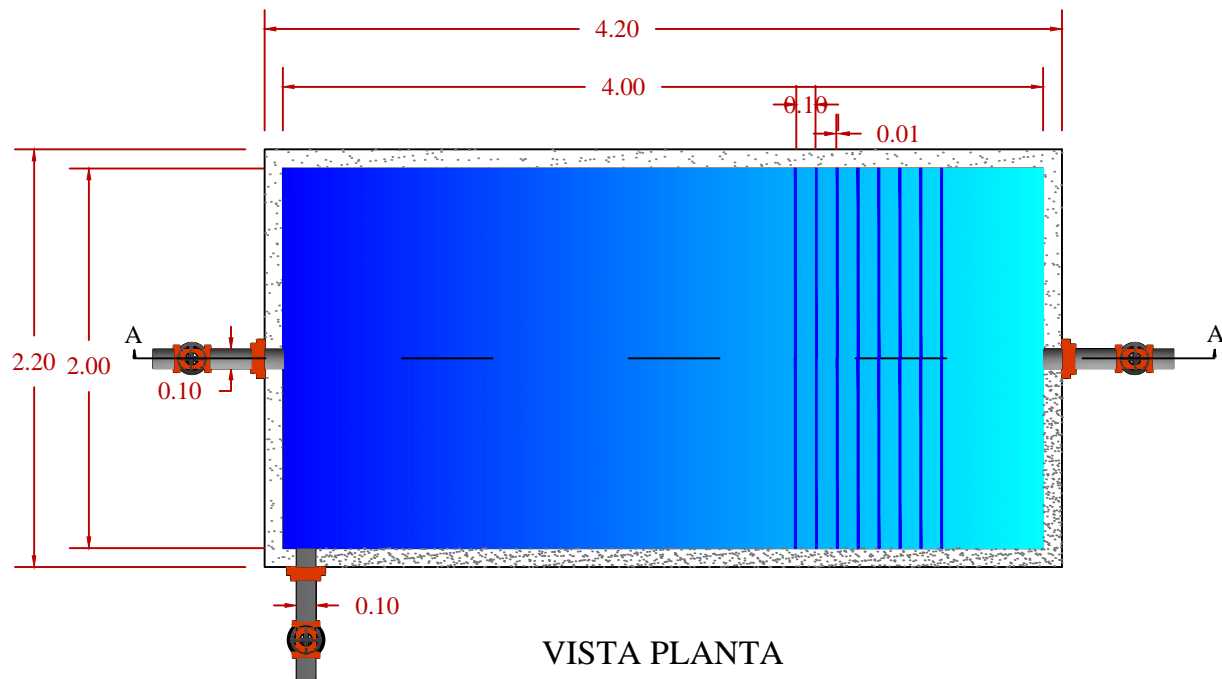



CORTE B-B'

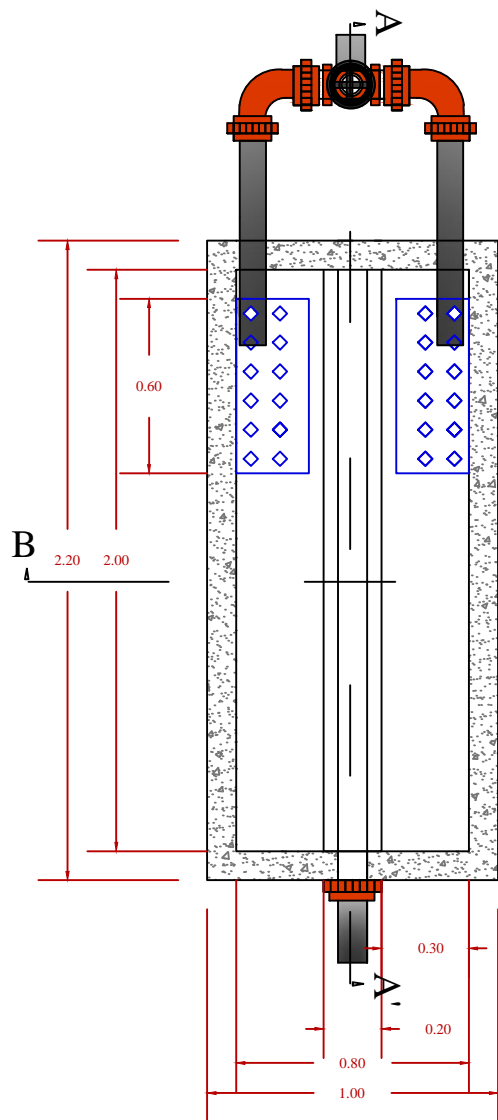


Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G

CONTIENE:		
Floculador		
Vista Planta, Cortes A-A', B-B', C-C'		
REALIZADO POR: Mabel Zapata	REVISADO POR: Dr. GERARDO LEÓN	REVISADO POR: Dr. ROBERT CAZAR
ESCALA:	FECHA:	LÁMINA: 3/10

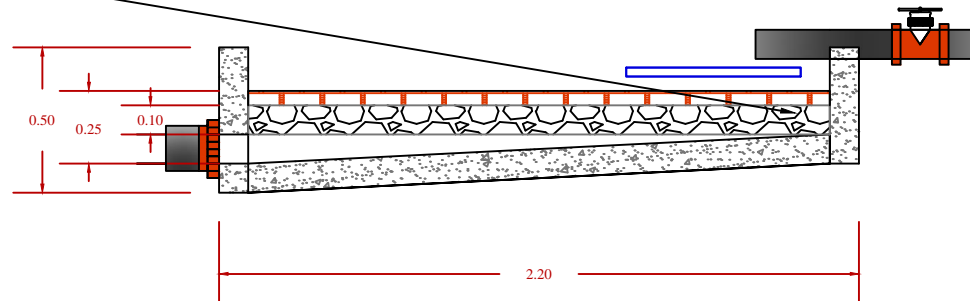


 <p>Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Laboratorio de Control de Calidad de la EP, EMAPA-G</p>		
CONTIENE: Sedimentador Vista Planta y Corte A-A'		
REALIZADO POR: Mabel Zapata	REVISADO POR: Dr. GERARDO LEÓN	REVISADO POR: Dr. ROBERT CAZAR
ESCALA:	FECHA:	LAMINA: 4/10

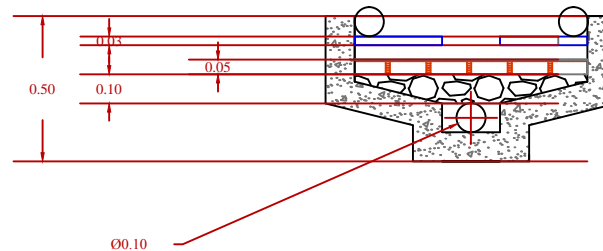


VISTA PLANTA

Ø 0.05 m



CORTE A-A'

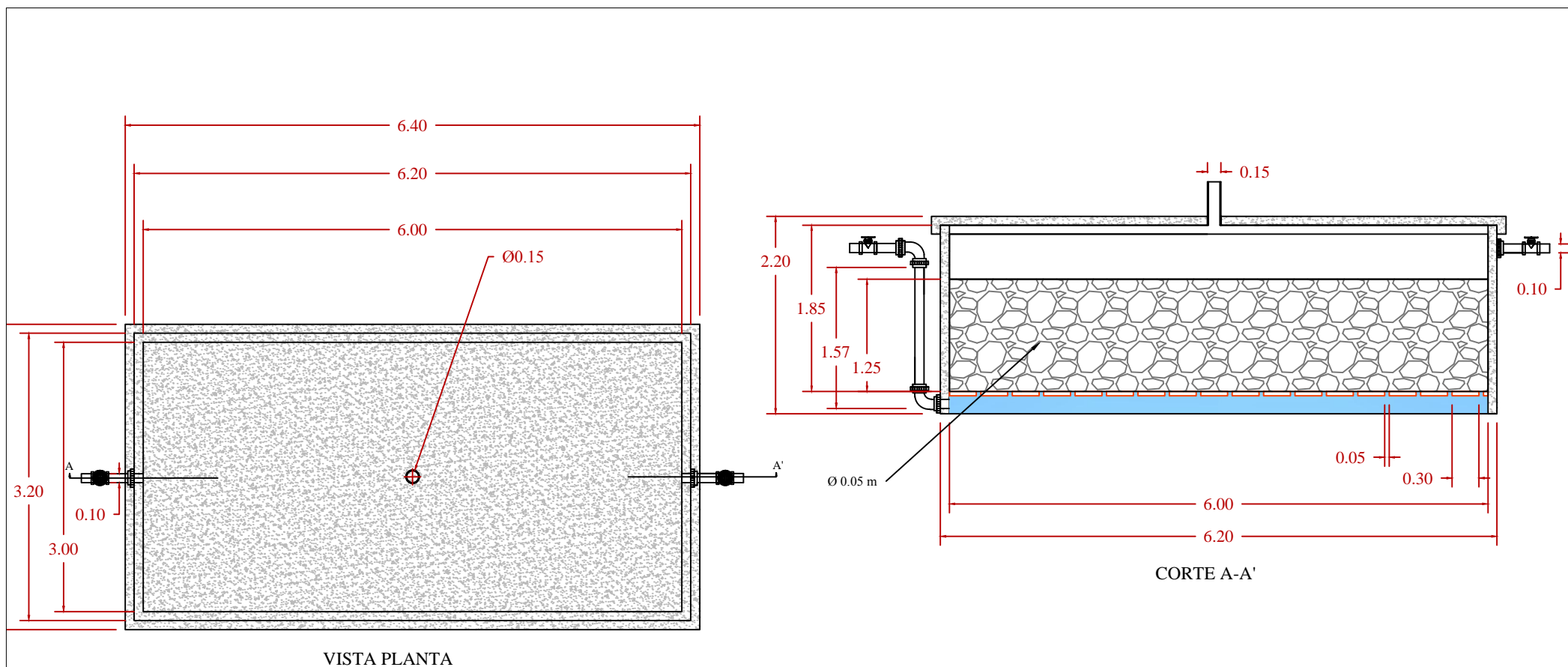


CORTE B-B'



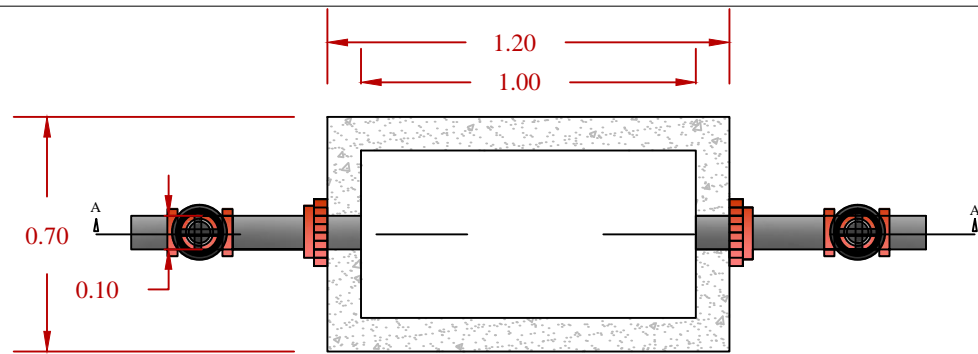
Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G

CONTIENE: Eras de Secado Vista Planta y Cortes A-A', B-B'		
REALIZADO POR: Mabel Zapata	REVISADO POR: Dr. GERARDO LEÓN	REVISADO POR: Dr. ROBERT CAZAR
ESCALA:	FECHA:	LÁMINA: 5/10

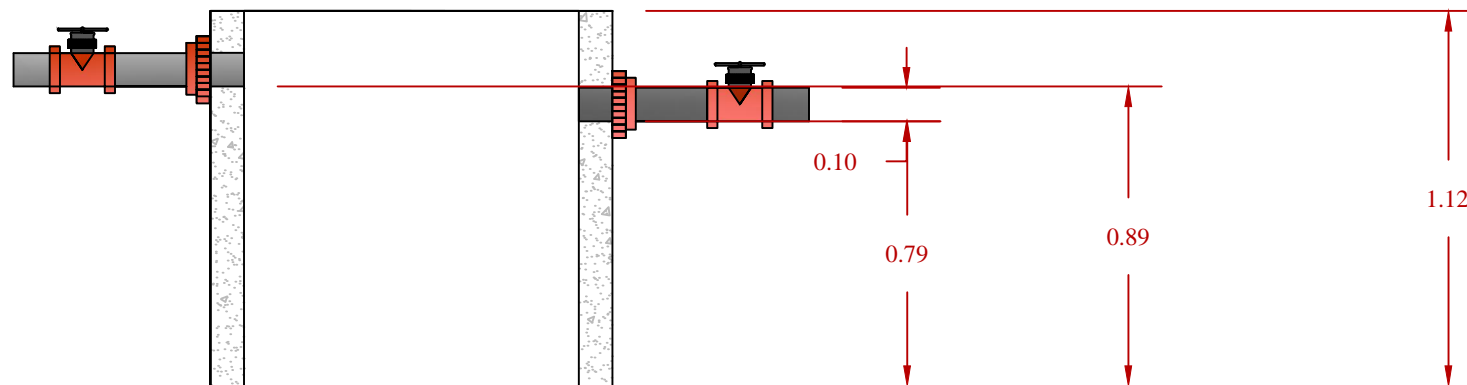


Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G

CONTIENE: FABA		
Vista Planta y Cortes A-A'		
REALIZADO POR: Mabel Zapata	REVISADO POR: Dr. GERARDO LEÓN	REVISADO POR: Dr. ROBERT CAZAR
ESCALA:	FECHA:	LÁMINA: 6/10



VISTA PLANTA

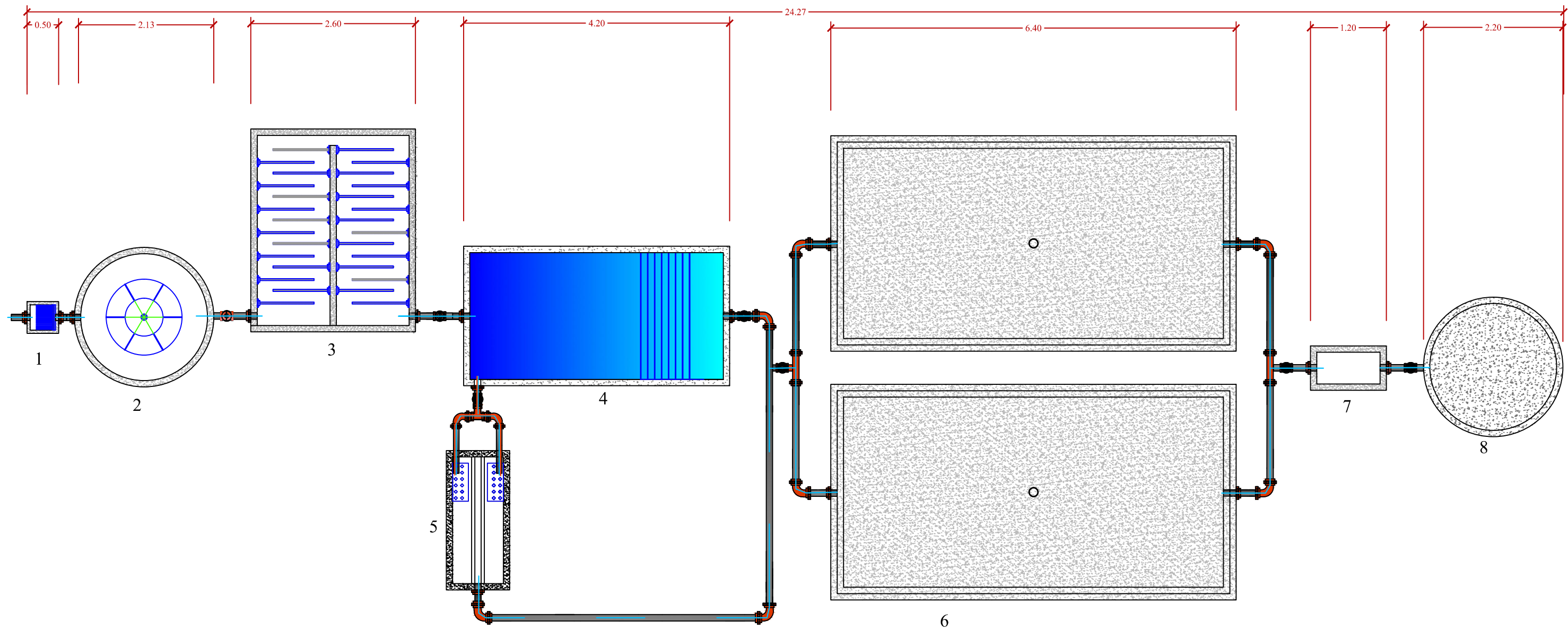


CORTE A-A'



Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para  
el Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G

CONTIENE: Tanque de desinfección Vista Planta y Corte A-A'		
REALIZADO POR: Mabel Zapata	REVISADO POR:	Dr. ROBERT CAZAR Dr. GERARDO LEÓN
ESCALA:	FECHA:	LÁMINA: 7/10



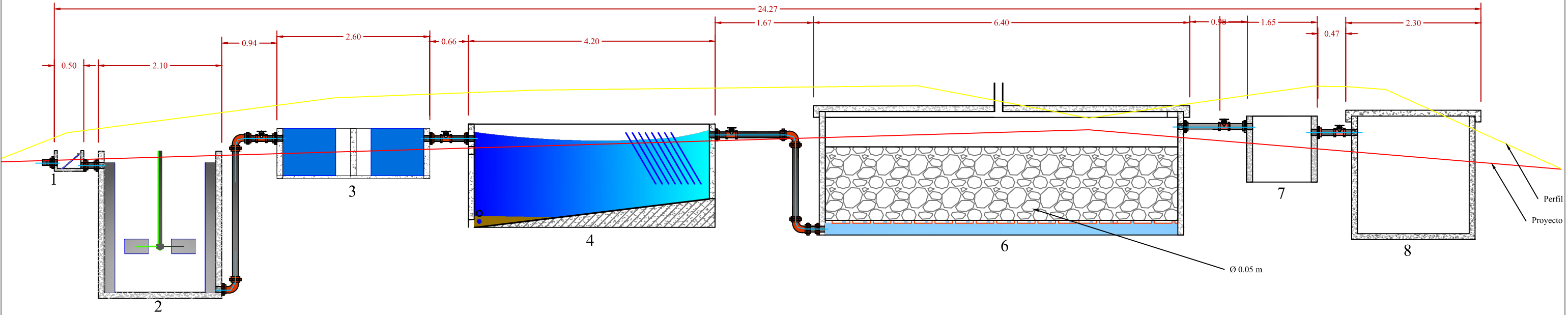
Nº	Cantidad	Descripción
1	1	Rejillas
2	1	Tanque de Almacenamiento y Coagulador
3	1	Floculador Horizontal
4	1	Sedimentador de Alta Tasa
5	1	Eras de Secado
6	2	FAFA
7	1	Tanque de Desinfección
8	1	Tanque de Almacenamiento




Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G

CONTIENE: Planta de Tratamiento - Vista Planta

REALIZADO POR: Mabel Zapata	REVISADO POR: Dr. GERARDO LEÓN	REVISADO POR: Dr. ROBERT CAZAR
ESCALA:	FECHA:	LÁMINA: 8/10



Nº	Cantidad	Descripción
1	1	Rejillas
2	1	Tanque de Almacenamiento y Coagulador
3	1	Floculador Horizontal
4	1	Sedimentador de Alta Tasa
5	1	Eras de Secado
6	2	FAFA
7	1	Tanque de Desinfección
8	1	Tanque de Almacenamiento



Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Laboratorio de Control de Calidad de la EP. EMAPA-G

CONTIENE:    Planta de tratamiento - Corte Longitudinal

REALIZADO POR: Mabel Zapata	REVISADO POR: Dr. GERARDO LEÓN	REVISADO POR: Dr. ROBERT CAZAR
ESCALA:	FECHA:	LÁMINA: 9/10



